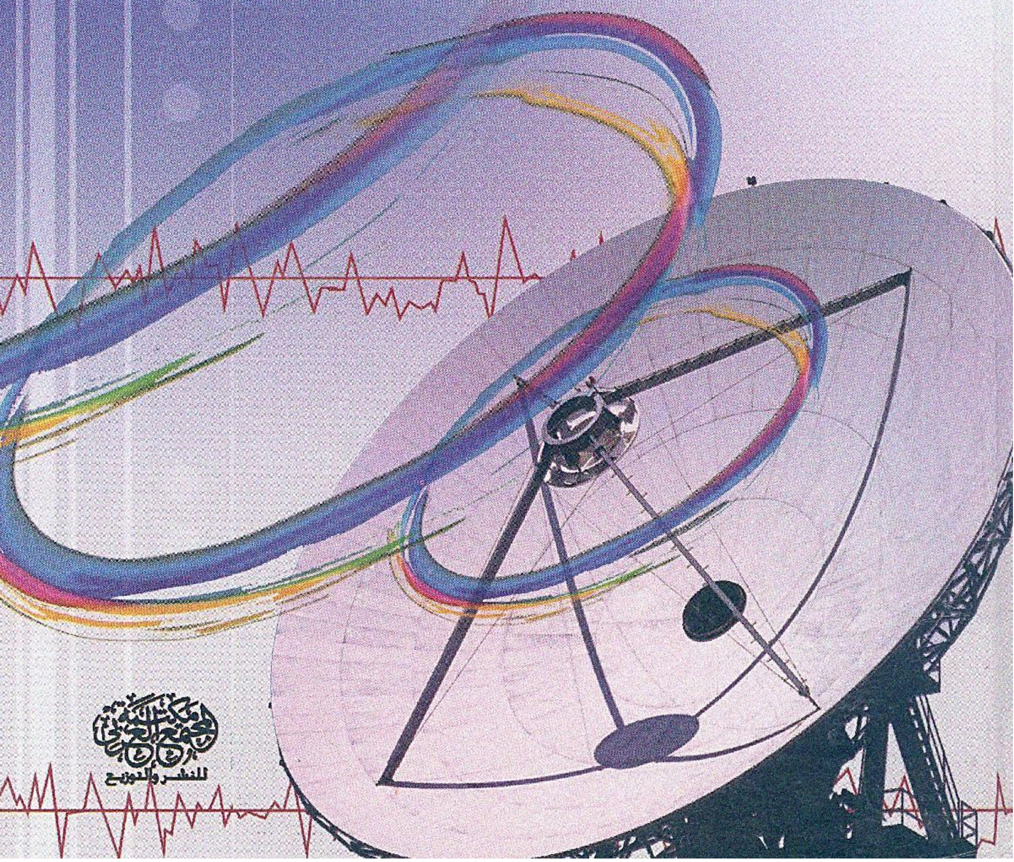
مكونات أنظمة الإتصالات

م. ريم مصطفى الدبس
م. سيماء قاسم الآغا



للنشر والتوزيع

مكونات أنظمة الإتصالات

مكونات أنظمة الإتصالات

تأليف

م. ريم مصطفى الدبس   م. سيماء قاسم الآغا

الطبعة الأولى

2009م – 1430هـ

مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية (2008/11/3492)

321.382

الدبس، ريم مصطفى

أنظمة الإتصالات / ريم مصطفى الدبس، سيماء الأغا

عمان – مكتبة المجتمع العربي، 2008

( ) ص.

ر.أ.: 2008/11/3492

الواصفات: /الإتصالات السلكية واللاسلكية/

- أعدت دائرة المكتبة الوطنية بيانات الفهرسة والتصنيف الأولية

الطبعة العربية الأولى

2009م – 1430هـ

مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

عمان – وسط البلد – ش. السلط – مجمع الفحيص التجاري

تلفاكس 4632739 ص.ب. 8244 عمان 11121 الأردن

عمان – ش. الملكة رانيا العبد الله – مقابل كلية الزراعة –

مجمع زهدي حصوة التجاري

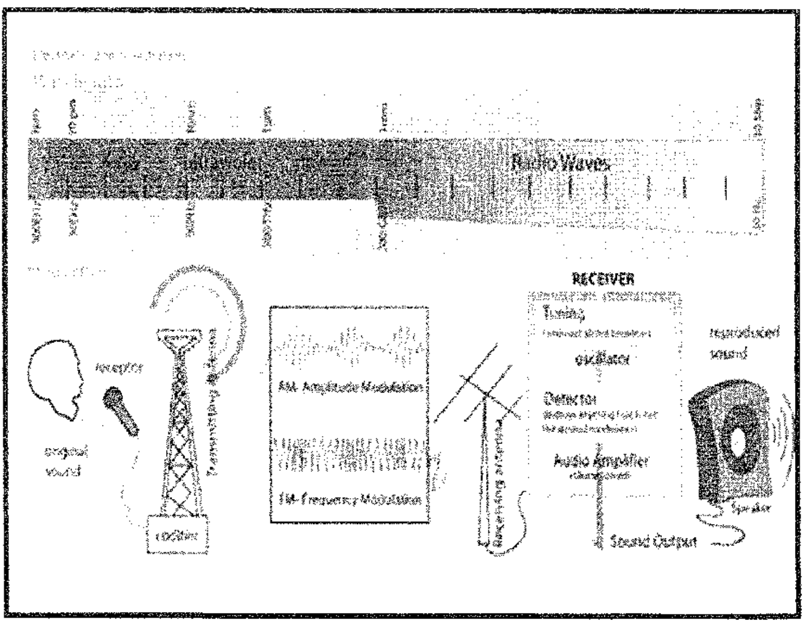
Email: Moj_pub@hotmail.com

المحتويات

الوحدة الأولى

أنظمة الاتصالات اللاسلكية

Wireless Communication Systems



أنظمة الإتصالات اللاسلكية
Wireless Communication Systems

مقدمة:

الغرض من أنظمة الإتصالات نقل المعلومات من نقطة معيّنة إلى نقطة أخرى لنفس خط الإتصال، كانت الصيغة الأولى لنقل صوت الإنسان بشكل مشفّر بYستخدام شفرة مورس (morse code)، و التي تحوّ إلى كلمات مرّة أخرى في الجهة المستقبلة.

المبدأ الرئيسي في أنظمة الإتصالات هو التعديل modulation، و هو مجموعة الإجراءات التي يتم من خلالها تحميل موجة المعلومات على موجة حاملة ذات تردّد عالي لغرض النقل، و عندما يتم إستقبال الإشارة يتم فصل إشارة المعلومات عن الإشارة المعدّلة، و تعرف هذه العملية بعكس التعديل demodulation، والسؤال الذي يطرح نفسه، لماذا لا يتم إرسال المعلومات بشكل مباشر؟ تكمن المشكلة في أنّ التردّدات الصوتية للإنسان منخفضة، فإذا تمّ إرسال هذه التردّدات بشكل مباشر (دون تعديل) سيحدث تداخل بينها بحيث تصبح غير مفيدة، من القيود الأخرى التي تمنع إرسال المعلومات بشكل مباشر، إستحالة إرسال هذه التردّدات المنخفضة لأنّها تتطلّب أن يكون طول الهوائيات عموديا بالأميال.

وتقسّم أنظمة الإتصالات بإختلاف أسلوب النقل بشكل أساسي إلى أنظمة سلكية و أنظمة لاسلكية، حيث يقصد بالأنظمة السلكية الأنظمة التي يمثّل السلك فيها الوسط الناقل للمعلومات (مثل الأسلاك المحورية والألياف البصرية و غيرها)، بينما يقصد بالأنظمة اللاسلكية الأنظمة التي يتمّ فيها نقل المعلومات عبر هوائي يحوّلها من إشارة كهربائية إلى إشارة كهرومغناطيسية تنتشر في الفراغ، وتختلف مواصفات الهوائي المستخدم بإختلاف مدى الإرسال والتردّد المستخدم في النظام، مثلا، من الهوائيات المستخدم في أنظمة UHF و VHF والأنظمة الراديوية

التي يتراوح التردّد فيها بين 3 KHz و 10 MHz: (هوائي ياغي yagi، الهوائي القطبي المطوي foldeddipole، الهوائي الحلقي loop، الهوائي المتعرّج zigzag)، بينما تحتاج الأنظمة الراديوية التي تعمل ضمن المدى من 1 GHz إلى 10GHz المستخدمة في الأقمار الصناعية و الرادار إلى هوائيات بكسب عالي و عرض حزمة إشعاعية أضيق و إتجاهية عالية. و يتم الحصول على ذلك بتشكيل مصفوفة من الهوائيات.

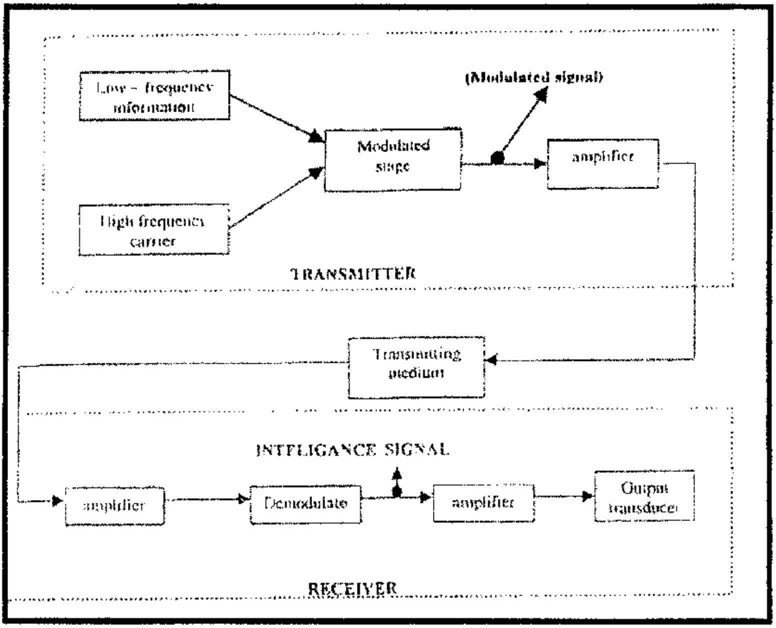
بشكل عام، يتمّ تصنيف معظم أنظمة الإتصالات بالتردّد الحامل carrier frequency، ويوضّح الجدول (1-1) المسمّيات للطيف التردّدي.

الجدول(1-1) مسمّيات المدى التردّدي

المدى التردّدي	المسمّى	الاختصار
30 – 300 Hz	Extremely low frequency	ELF
300 – 3000 Hz	Voice frequency	VF
3 – 30 KHz	Very low frequency	VLF
30 – 300 KHz	Low frequency	LF
300 KHz – 3 MHz	Medium frequency	MF
3 – 30 MHz	High frequency	HF
30 – 300 MHz	Very High frequency	VHF
300 MHz – 3 GHz	Ultra High frequency	UHF
3 – 30 GHz	Super High frequency	SHF
30 – 300 GHz	Extra High frequency	EHF

والشكل (1-1) يوضّح المخطط الصندوقي العام لأي نظام إتصال. حيث تقبل مرحلة التعديل نوعين من الإشارات: إشارة المعلومات المراد نقلها (information signal)، و الإشارة الحاملة ذات التردّد العالي (carrier signal)، و يتم تكبير الإشارة المعدّلة الناتجة قبل إرسالها، و يتم نقل الموجة المعدّلة إمّا من خلال الهوائيات، الموجّهات، الألياف البصرية أو خطوط النقل، و تقوم وحدة الإستقبال بإلتقاط الموجة المنقولة و تعيد تكبيرها مرّة أخرى لتعويض التوهين الذي واجهته الموجة خلال عملية النقل.

ومـن بعـد التكـبير يقـوم عـاكس التعـديل demodulator (أو الكاشـف detector) بإسـتخلاص إشـارة المعلومـات مـن الإشـارة الحاملـة. و مـن بعـد تكـبير الإشـارة الناتجـة يقـوم محـوّل الطاقـة الفيزيائيـة (transducer) بتحويـل الإشـارة الكهربائية الناتجة إلى إشارة فيزيائية (صوت، صورة،...).



شكل (1–1) المخطط الصندوقي العام لنظام الإتصالات

يوجد أنواع مختلفة من أنظمة الإرسال و الإستقبال، بإختلاف نوع التعديل (AM, FM, PCM,...)، و إختلاف نوع الإشارة المنقولة و التي تؤدي إلى إختلاف أسلوب عرض الإشارة الفيزيائية (سمّاعة، تلفاز، كمبيوتر،...).

من الجدير بالذكر وجود عاملين مهمّين محدّدين لكفاءة نظام الإتصال. الأول هـو التـشويش noise فـإذا كـان مـستوى التـشويش عـالي، ضـاعت إشـارة المعلومـات. و الثـاني هـو عـرض النطـاق (bandwidth)، فكلمّـا زاد عـرض نطـاق النظام، يعني ذلك زيادة المعلومات التي يمكن نقلها.

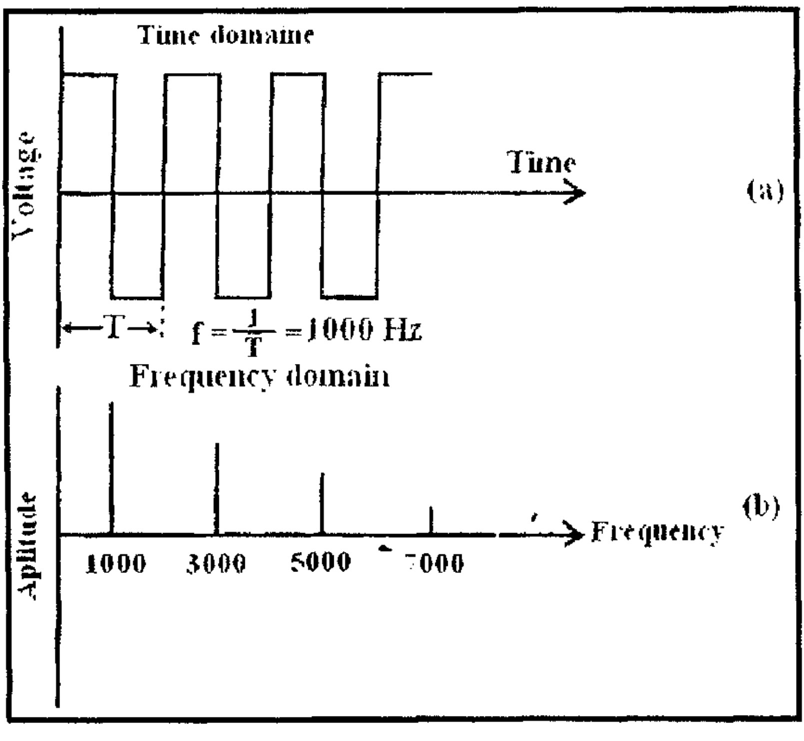
إنّ نطاق الترددات محدود، و العالم اليوم يعتمد على أنظمة الإتصالات الإلكترونية بشكل كبير، و لقد تمّ تحديد القناة (التردّد) المستخدمة لتطبيق معيّن و لمنطقة معيّنة على سطح الأرض، و ذلك لغرض تقليل إحتمالية التداخل بين إشارتين مختلفتين تعملان على نفس التردّد، وربط العالم هارتلي بين المعلومات وعرض النطاق بقانونه الذي ينصّ على: "تتناسب المعلومات التي يمكن نقلها تناسب طردي مع حاصل ضرب عرض النطاق المستخدم في زمن النقل"، و يمكن التعبير عن هذا القانون بالعلاقة الرياضية التالية:

المعلومات = عرض النطاق × زمن النقل

مثال على ذلك، نقل اللحن الموسيقي، فإنّ كمية المعلومات المتوفرة للأذن البشرية تنحصر في مدى التردّدات حتّى 15KHz، وحيث أنّ عرض النطاق القياسي للمحطة الإذاعية AM هو 10KHz، فإنّ اللحن الموسيقي لا يكون كلّه مسموعاً من جهة أخرى، فإنّ للمحطة الإذاعية FM عرض نطاق قياسي أوسع(200 KHz). الأمر الذي يسمح لكمية المعلومات بالكامل (لحد 15 KHz) بالظهور في الجهة المستقبلة للإشارة، ممّا يوضّح أفضلية إستخدام FM على AM، هذا مثال أنّ عرض النطاق الأوسع والأكبر يعني سعة معلومات أكبر، و هو يؤكّد قانون هارتلي.

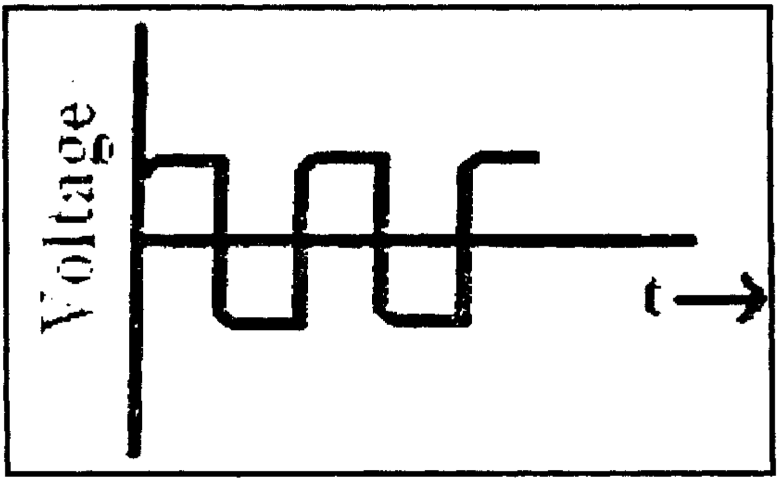
وعلى الرغم من التحديد الناتج عن عرض النطاق المحدود للإرسال AM، إلاّ أنّه جيد لمعظم التطبيقات الصوتية، و لكن عرض نطاق 10 KHz غير مقبول لإرسال قناة تليفزيونية، بل يحدّد للقناة التليفزيونية عرض نطاق 6 MHz (أي 600 ضعف لعرض نطاق القناة الإذاعية AM)، حيث تتعامل القناة التليفزيونية مع سعة معلومات أكبر بكثير مما يستلزم نطاق واسع لذلك، فالقناة التليفزيونية تحتوي الصوت (audio) و الصورة (video)، و فعلياً الموجة المرئية (الصورة) هي التي تحتاج معظم النطاق (6 MHz).

تكون الإشارة المرئية بشكل أساسي بصيغة موجة نبضية (pulse form)، والموجة النبضية بتردّد معيّن تحتاج نطاق أوسع لنقلها من الموجة الجيبية ذات نفس التردّد، حيث تحلّل مثل هذه الموجة إلى موجة جيبية ذات تردّدات عدّة (بنفس قيمة تردّد الموجة النبضية و مضاعفات ذلك التردّد)، فمثلا يمكن تمثيل موجة مربّعة ذات التردّد 1000 KHz إلى موجة جيبية ذات التردّدات 1000 KHz, 3000 KHz, 5000 KHz, 7000 KHz و هكذا، و بالتالي فإنّ عرض النطاق اللازم لإرسال هذه الموجة لانهائي، والطيف التردّدي لهذه الموجة يحتوي مكوّنة عند تلك التردّدات ولكن قيمة تلك المكونات تقل بازدياد التردّد كما هو موضّح في الشكل (1−2).



شكل (1−2) الموجة المربّعة و الطيف التردّدي لها.

وهكذا، فإنّ عرض نطاق 10 KHz يكون كافٍ لنقل موجة نبضية بتردّد 1KHz بشكل مقبول للعديد من التطبيقات بحيث نحصل على موجة مربّعة بحواف مشوّهة كما في الشكل (1− 3)، كما يمكن الحصول على الموجة النبضية الأصلية بدون تشوّه ملحوظ بنقل الموجة على عرض نطاق 30 KHz، مع العلم أنّ عرض نطاق 1 KHz يكون كافٍ لنقل موجة جيبية تردّدها 1 KHz.



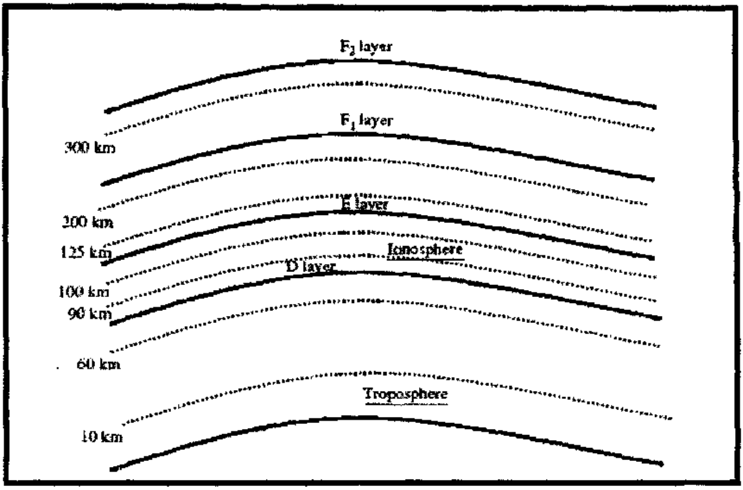
شكل (1− 3) موجة مربّعة بحواف مشوّهة

أنواع الموجات الراديوية Kinds of radio waves:

كما هو موضح في الشكل(1− 4 a,b,c)، يمكن تصنيف الموجات الراديوية (RF) من حيث طبيعة إنتشارها إلى:

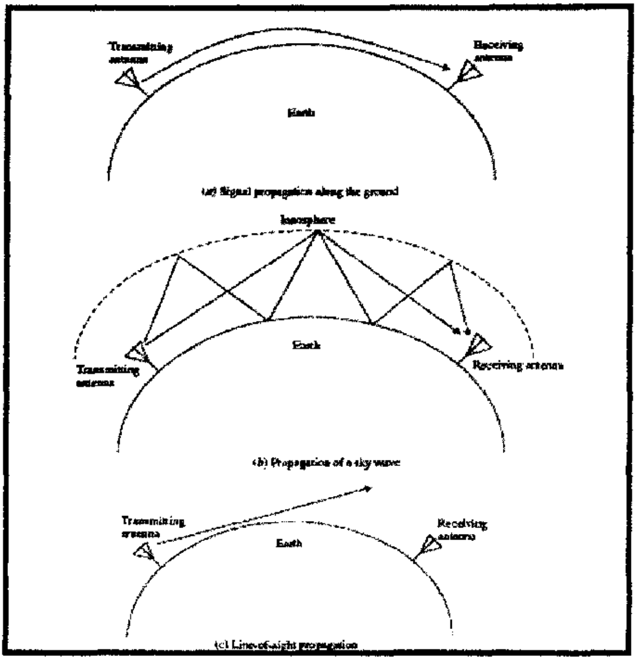
1. الموجات الأرضية ground waves: هي الموجات التي تنتشر على سطح الأرض أو البحر. و تتّحد الموجة الأرضية مع الموجة المنعكسة عن سطح الأرض، و كلّما زاد التردّد المستخدم ضعفت الموجة المنعكسة (علاقة عكسية).

2. الموجات الفضائية space waves: وهي الموجات التي تنتشر مباشرة من الهوائي المرسل إلى هوائي المستقبل على امتداد خط النظر (line of Sight LOS)، أو تنعكس عن سطح الأرض و تصل لهوائي المستقبل. و من المشاكل التي تظهر في الجهة المستقبلة لهذه الموجات فرق الطور الذي يحدث بين الموجتين (المباشرة و المنعكسة) لو لم تم وصولهما بشكل متزامن. و هذه المشكلة تظهر بشكل الخيال (الشبح ghost) المحيط بالصورة في الإشارة التليفزيونية.
3. الموجات السماوية sky waves: هي الموجات التي تنتشر إلى طبقات الأيونوسفير ionosphere وتتعرّض هذه الموجات للإنكسار نتيجة إختلاف الكثافة بين طبقات الجو، وإذا كانت الإنكسارات فعّالة فإنّ الموجات المنتشرة تعود مرّة أخرى إلى الأرض، و يجب أن تكون هذه الإنكسارات في طبقة واحدة من الأيونوسفير، يستلزم حدوث تحدّب الموجات الكهرومغناطيسية باتجاه الأرض إلى وجود الطبقة المتأيّنة في الطبقات الجوية العليا، هذه الطبقات المتأيّنة تنتج عن تأيّن الغازات القليلة الكثافة و الناتج عن الإشعاعات من الشمس، وتتكوّن هذه الإشعاعات بشكل أساسي من الموجات فوق البنفسجية والجزيئات الكونية مثل الإلكترون والبروتون، وتعرف الطبقات الأيونسفيرية برموز هي طبقات D، E، F_1، F_2 و الموضّحة في الشكل (1– 4).



شكل(1– 4) الطبقات الأيونسفيرية

تختلف خصائص إنتشار الموجات الراديوية بشكل كبير من الإنتشار على خط النظر (LOS) إلى النقل العالمي النطاق، ولكن ما ينطبق على الموجات الضوئية من خواص ينطبق أيضا على الموجات الراديوية (من إنعكاس و إنكسار وحيود).



شكل(1 − 4 a,b,c) انتشار الموجات الراديوية

ومن العوامل الفيزيائية التي تحدّد عملية الإنتشار:

1. إنحناء سطح الأرض.
2. مقاومة و عازلية الأرض و البحر.
3. الإمتصاص التربوسفيري.

تعود تسمية بعض الموجات المستخدمة في أنظمة الإتصالات إلى طولها الموجي فسميّت بالموجات (الطويلة، المتوسطة والقصيرة)، و الطول الموجي يتناسب عكسيا مع التردّد ($\lambda = \frac{c}{f}$):

1. الموجات الطويلة long waves:

هـي الموجـات الراديويـة ذات المـدى الـتردّدي المحـصور بـين (50 KHz →550KHz)، وتـستخدم هـذه الـتردّدات بـشكل كـبير في الملاحـة البحريـة (navigation)، و اجهزة التتبّع (direction finding) ولبعض خدمات البث ذات المدى التردّدي المحدود حول 500 KHz، وهي محدّدة بالخدمات التي تستلزم مسار جغرافي بسيط و الذي لا يتأثر بالجو. كما يتأثر إستخدامها في الملاحة البحرية بطبيعة المياه (مالحة أو حلوة)، فكلمّا إزدادت ملوحة المياه قلّ التوهين.

2. الموجات المتوسطة medium waves:

هي الموجات الراديوية ذات المدى التردّدي المحصور بين (550 KHz →1.5 MHz). وتستخدم هذه الموجات بشكل كبير لتغطية مناطق محدودة ويشكل أساسي للبث الترفيهي، وتخصّص بعض التردّدات للطيران aircraft والشرطة (لأغراض محدّدة).

3. الموجات القصيرة short waves:

هي الموجات الراديوية ذات المدى التردّدي المحصور بين (1.5 MHz →30 MHz). تستخدم التردّدات بين 3 MHz و 30 MHz (التردّدات العالية HF) في انظمة الإتصال للمسافات الطويلة. و يتمّ وضع معيد (repeater) كل 50 Km وهو عبارة عن محطة تقوية، يقوم بإستقبال الموجة و تكبيرها وإعادة إرسالها مرة أخرى، ويسبّب إستعمال المعيدات زيادة تكلفة النظام، و تكون هذه الموجات سماوية (أيونسفيرية).

4. إنتشار الموجات VHF و UHF:

تستخدم هذه الموجات بشكل أساسي في البث التليفزيوني و الإذاعي (Broadcasting) و نظام الهواتف ذو النطاق الضيق، وبالتالي، يجب إستخدام قدرة نقل تتراوح بين 1 Kw إلى 10 Kw بإختلاف نظام الإستقبال، والموجات المستخدمة في هذان النظامان هي الموجات الفضائية المباشرة LOS والموجات السماوية.

1. انظمة الإتصالات اللاسلكية ذات التردّد العالي HF:

إنّ مدى الترددات العالية HF تتراوح من 3 MHz إلى 30 MHz، كما ذكرنا سابقا، و بالتالي فإنّ الطول الموجي لها يتراوح من 100 m إلى 10 m (على الترتيب)، فهي تعدّ من الموجات القصيرة short waves. و نطاق HF هو النطاق المستحب في التطبيقات العسكرية لأنّه يتيح إنتاج المعلومات المكتوبة بدون الحاجة لمشغّل ماهر، حيث يتم إرسال كل نبضة Bit بإحدى نغمتين و يتم تجميع كل 7 نبضات لتمثيل كل رمز مطبوع.

لا يزال إلى الآن نظام HF نظام الإتصالات طويلة المدى المعياري لإتصالات الطيران، على أي حال، نتيجة إختلاف إنتشار موجات HF فإنّ استجابة هذا النظام يختلف عن باقي الأنظمة.

في أنظمة اتصالات الطيران خلال فترة زمنية معينة يتم إستخدام ترددات HF مختلفة، فنتيجة الحركة تتغيّر المسافة بين طائرتين فلا بد من تغيير التردد لتحقيق التواصل، ممّا يستلزم توفر عدة مستقبلات في الجهة المستقبلة كل منها يولّف على تردد مختلف لتحقيق الإتصال بين النقطتين، ممّا يعني صعوبة الإستقبال لعدم معرفة تردد التوليف.

2. انظمة الإتصالات اللاسلكية ذات التردّد العالي جدا VHF

إنّ مدى الترددات العالية HF تتراوح من 30 MHz إلى 300 MHz، كما ذكرنا سابقا، و بالتالي فإنّ الطول الموجي لها يتراوح من 10 m إلى 1 m (على الترتيب)، وتشتمل على أنظمة البث الراديوية FM و البث التلفزيوني (النطاق الأول و الثاني).

3. انظمة الإتصالات اللاسلكية ذات التردّدات فائقة العلو UHF

إنّ مدى التردّدات العالية UHF تتراوح من 300 MHz إلى 3GHz، كما ذكرنا سابقا، و بالتالي فإنّ الطول الموجي لها يتراوح من 1 m إلى 100 mm (على الترتيب)، وتشتمل على أنظمة البث التلفزيوني (النطاق الثالث)، ومع ظهور نظام الإتصالات الخلوية خصّصت 10 قنوات من مدى UHF (من القناة 73 إلى القناة 83) له، فلا ترسل إشارات تلفزيونية على التردّدات من 825 MHz إلى 890 MHz و إنّما تستخدم للتليفونات الخلوية.

وسنتعرّف فيما يلي على أجهزة الإرسال و الإستقبال لأنظمة الإتصالات اللاسلكية المذكورة، الراديوية منها و التليفزيونية.

وسنتطرق في هذه الوحدة لهذة الأنظمة الثلاث بتفصيل لدوائر الإرسال و الإستقبال لكل منها.

انظمة البث Broad Casting:

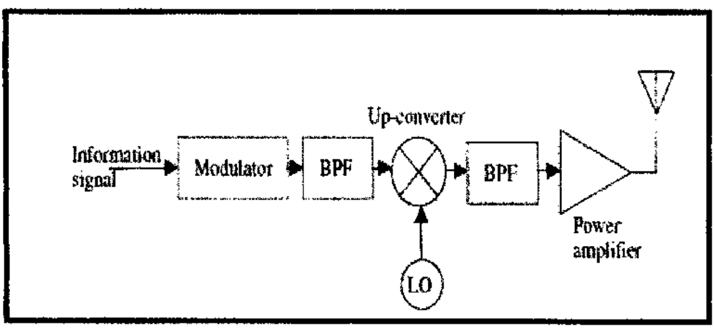
يقصد بأنظمة البث الأنظمة التي توجّه خدمتها للعموم دون تخصيص، فكل مستخدم يستطيع إستقبال الإشارة المرسلة إذا كان لديه جهاز الإستقبال الملائم، وتنقسم انظمة البث إلى:

1. انظمة الراديو Radio systems .
2. انظمة التلفزيون TV systems.

1.4 انظمة الراديو Radio systems:

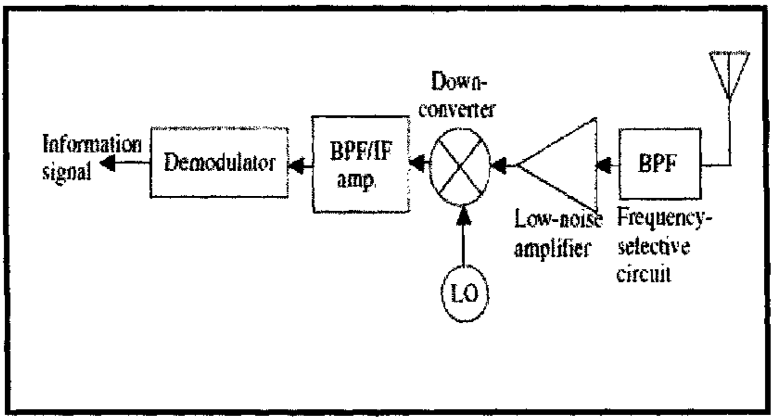
أنظمة الراديو هي الأنظمة التي تنقل المعلومات الصوتية المختلفة من نقطة إلى نقطة أخرى. فالمعلوم أنّ الإشارة الصوتية تنتشر لمسافات قصيرة لانّ سرعة الصوت صغيرة (مقارنة مع سرعة الضوء)، فإذا أردنا إرسالها لمسافات طويلة فلا بد أن نحمّلها على إشارة أخرى قبل الإرسال. ثمّ ترسل عبر الهوائي الذي يحوّلها إلى موجة كهرومغناطيسية (لها مجال كهربائي و مجال مغناطيسي) تنتشر في كافة الاتجاهات في الفراغ. و يطلق على هذه الموجة "موجة الراديو radio wave"، والشكل (1–5) يوضّح المخطط الصندوقي البسيط للمرسل (Transmitter (Tx) في النظام الراديوي.

وتختلف أنظمة القنوات الراديوية من حيث نوع التعديل المستخدم، فقنوات AM تستخدم التعديل السعوي لإرسال الموجات الصوتية و تعمل في نطاق MF. وقنوات FM تستخدم التعديل التردّدي و تعمل في نطاق VHF.



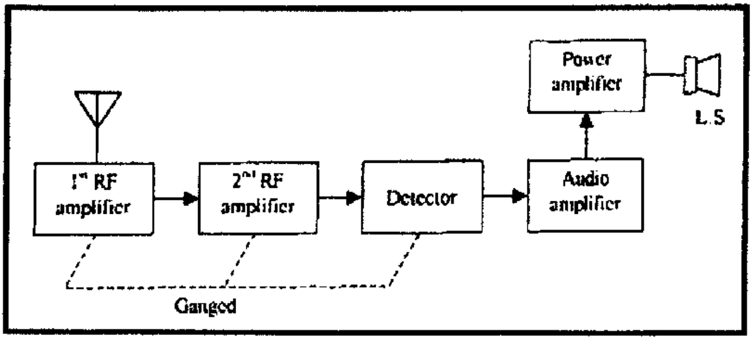
شكل (1–5) مخطط صندوقي بسيط لمرسل قناة راديوية

يحوّل المايكريفون (microphone) الإشارة الصوتية إلى إشارة كهربائية و بالتالي فهو جزء رئيسي في عملية الإرسال، ويقوم المكبّر (speech amplifier) بتكبير تلك الإشارة لحد معيّن، ويقوم المعدّل (modulator) سواء كان النظام AM او FM على تحميل الإشارة على إشارة ذات تردّد عالي يولّدها المهتز (High Frequency Oscillator)، و بعد ذلك يعمل المكبّر (power amplifier) على تكبير الإشارة قبل إرسالها، و يقوم هوائي المرسل بالربط بين المرسل و الفراغ الحر، حيث يحوّل الإشارة الكهربائية المعدّلة إلى موجة كهرومغناطيسية تنتشر في كافة الاتجاهات في الفراغ.



شكل(1– 6) المخطط الصندوقي للمستقبل (ReceiverRx) في الأنظمة الراديوية

والشكل (1– 6) يوضّح المخطط الصندوقي للمستقبل (receiver)، يعمل المستقبل على إلتقاط الإشارة المرغوبة وحجب الترددات غير المرغوبة و تكبيرها (تكون قدرة الإشارة المستقبلة عموماً بالـ pico–watt)، ويعمل عاكس التعديل (demodulator) او الكاشف (detector) على إستخلاص الإشارة الصوتية من الإشارة المعدّلة، ثمّ تكبّر و تعرض بالسمّاعة ((Load Speaker (LS))، و تكون ممانعة السمّاعة حوالي 5Ω.



شكل(1–7) المخطط الصندوقي لمستقبل توليف الترددات الراديوية

(TRF receiver)

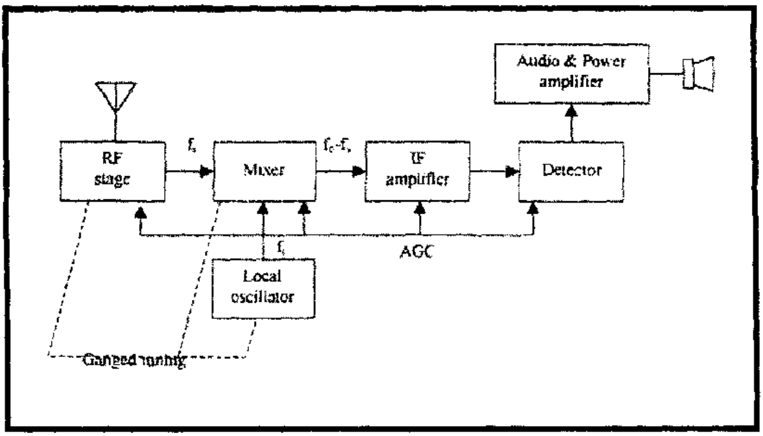
للمستقبلات (receivers) أنواع مختلفة، فالشكل (1–7) يبيّن المخطط الصندوقي لمستقبل توليف الترددات الراديوية (TRF receiver) والذي إستخدم قبل الحرب العالمية الثانية، حيث يحتوي مرحلتين (أو ثلاثة من مكبّرات التوليف) والتي يتم من خلالها إختيار و تكبير التردّد المطلوب وحجب باقي الترددات غير المرغوبة، تتميّز هذه المستقبلات ببساطة التصميم، وتعمل على النطاق من 535 KHz إلى 1640 KHz، و تواجه صعوبات في الترددات العالية، لتوضيح ذلك، لنفرض إستخدام دائرة التوليف للحصول على عرض نطاق 10 KHz عند تردّد 535 KHz، فإنّ معامل الجودة Q لهذه الدائرة سيساوي:

$$Q = \frac{f_r}{BW} = \frac{535}{10} = 53.5$$

وهي نتيجة مقبولة (أي يمكن تصميم هذه الدائرة) أمّا عند إستخدام دائرة التوليف للحصول على عرض نطاق 10 KHz عند تردّد 36.5 MHz، فإنّ معامل الجودة لهذه الدائرة سيساوي:

$$Q = \frac{f_r}{BW} = \frac{36500}{10} = 3650$$

ويتضّح أنّه من المستحيل الحصول على هذه النتيجة لقيمة Q بدائرة توليف اعتيادية. من مساوئ هذا المستقبل (TRF) عدم التحكم بالكسب (gain)، فإذا إستقبلت الإشارة عالية سنسمعها عالية وإذا وصلت منخفضة سنسمعها منخفضة، كما يسبّب إختلاف عرض النطاق (كنتيجة عرضية خلال التوليف) انخفاض الحساسية (sensitivity) وبالتالي يمكن إستقبال إشارة أخرى غير المرغوبة، لحل هذه المشكلة تستخدم المستقبلات المتعلقة بتردّدين (السوبر هيترودايِن super heterodyne)، والشكل (1 – 8) يوضّح المخطط الصندوقي لمستقبل super heterodyne.



شكل (1–8) المخطط الصندوقي لمستقبل super heterodyne في الأنظمة الراديوية.

يتميّز هذا المستقبل بتردّد متوسط (IF) ثابت للنظام المستخدم بحسب نوع التعديل، حيث تمزج الإشارة المستقبلة مع الإشارة المولّدة في لتنتج إشارة ذات تردّد أقل، وهذه الإشارة ذات التردّد المتوسط تحتوي نفس التعديل في الإشارة الحاملة الأصلية، ويتم إجراء التكبير وكشف الموجة على الموجة المتوسطة لإنتاج إشارة المعلومات المرسلة، وقيمة التردّد المتوسط في أنظمة التعديل السعوي 455 KHz، بينما قيمته في أنظمة التعديل الترددي 10.8KHz.

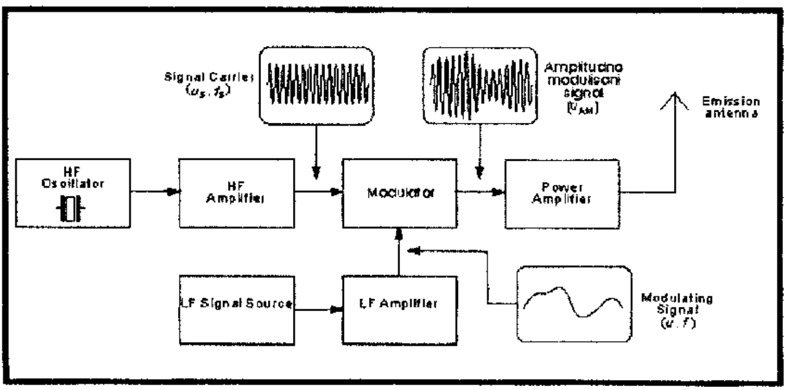
ومن مميزات المستقبل السوبر هيترودايني:

1. تتوزّع حساسية و إختيارية بشكل متساوي في مدى التوليف.
2. يوفّر معظم عرض النطاق و الكسب المطلوبين للنظام.
3. يستخدم في معظم الأنظمة الراديوية سواء AM او FM، كذلك نظام التلفزيون و الرادار.

1.1.4 الأنظمة الراديوية ذات التعديل السعوي AM

المرسلات AM transmitter:

لفهم أسلوب عمل المرسل الراديوي، نستعرض المخطط الصندوقي الموضّح في الشكل (1–9)، بعد توليد الإشارة في المصدر source، تدخل مكبّر الترددات المنخفضة، تعالج الإشارة المكبّر في المعدّل الذي يحمّلها على إشارة حاملة carrier ذات تردد عالي يولّد في المهتز الكريستالي، ثم يتم تكبير الإشارة المعدّلة الناتجة بمكبّر قدرة لتجهّز للإرسال عبر الهوائي.



شكل(1– 9) المخطط الصندوقي لمرسل راديوي AM

المستقبلات AM Receiver:

لمستقبل القناة الراديوية AM السوبر هيتروديني عرض نطاق ثابت قيمته 10 KHz و تردّد متوسط 455 KHz، ومن مميزات هذا النظام:

1. عرض النطاق BW الثابت.
2. تردّد متوسط ثابت ممّا يعني ثبات الإشارة الخارجة.
3. الحساسية العالية، و الموزّعة بتناسق على طول عرض نطاق العمل.
4. الثبات stability في العمل.
5. معظم عملية التكبير تحدث في عند التردّد المتوسط IF عوضا عن التردّدات الراديوية العالية RF.
6. تحقيق كسب أعلى لكل مرحلة و الناتج عن تكبير الإشارة في مرحلة IF.

للاطّلاع: من الأعطال التي قد تظهر في أجهزة الإستقبال عدم سماع الصوت من السمّاعة، وللبحث عن سبب العطل:

1. التحقق من وصول القدرة الكهربائية (power) للسمّاعة، فإنّ تحققنا من سلامة ذلك نفحص السمّاعة بوصلها بمصدر (V_{cc},Gnd) فإذا أعطت صوت فهي سليمة.
2. فحص المكبّر و الكاشف (الديود).
3. فحص RA، نتحقق من توصيل أطرافه الثلاث: إذا لم يوصّلوا جيدا فإنّ الإشارة لا تدخل المستقبل. أمّا إذا سمعنا "وشّ" فهذا يعني تحقّق وصول القدرة لكن عدم وجود إشارة.

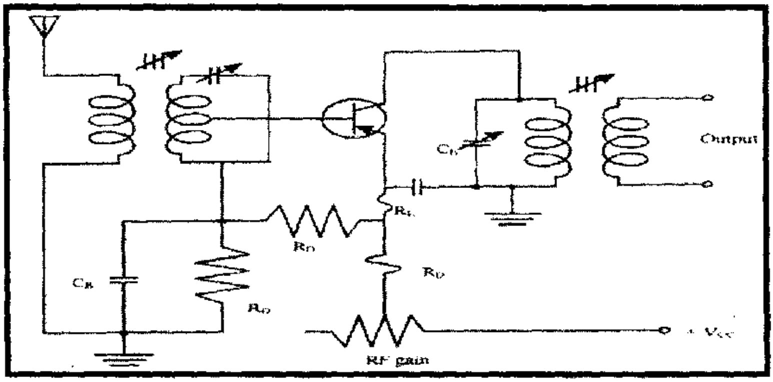
ولنتناول الآن كل مرحلة من مراحل الإستقبال الراديوي AM المبيّنة في الشكل (1– 8) بالتفصيل.

مرحلة RF وخصائصها:

يحتوي مستقبل القنوات الإذاعية دائماً على مرحلة RF. و هي دائرة توليف موصولة إلى هوائي المستقبل، و تستخدم هناك لانتقاء تردّد مرغوب و رفض باقي الترددات غير المرغوبة، ولا يقصد بالتردّدات غير المرغوبة إشارة التشويش فقط وإنمّا أيضاً الإشارات الراديوية التي يستقبلها الراديو ولا نرغب بالاستماع إليها، ويتبع دائرة التوليف في المستقبل مكبّر RF.

والشكل (1- a10) يبيّن دائرة RF لتردّدات متوسطة، حيث تقوم دائرة التوليف (L–C circuit) بتوليف الإشارة المستقبلة من الهوائي، إذا وجدت مرحلة تكبير، فإنّ الإشارة المكبّرة ستغذّي دائرة المازج (mixer) الذي يظهر في بدايته دائرة توليف أخرى، ولكن في بعض الأحيان تكون دائرة التوليف الموصولة مع الهوائي مرتبطة مباشرة مع المازج، فلا يحتوي المستقبل في هذه الحالة على المكبّر RF amplifier، أو ببساطة أكثر لا يحتوي مرحلة RF stage.

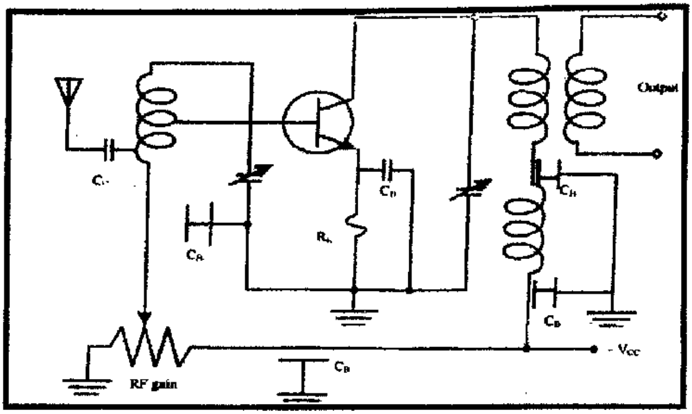
والشكل (1- b10) يبيّن دائرة RF للتردّدات العالية جدا VHF، والتي تبيّن دائرة التوليف والتكبير، وهذا المكبّر RF هو الأكثر شيوعا وهو من نوع مولّف إشارة بمحوّل ربط (single tuned transformer coupled)، ونلاحظ في كلا الشكلين السابقين دائرة التحكم بالكسب (RF gain)، و هي شائعة في المستقبلات ذات أغراض الإتصال المختلفة.



شكل(a10-1) مكبّر RF للتردّدات المتوسّطة

ومن مميزات دائرة المكبّر RF:

1. كسب أعلى و حساسية أفضل.
2. تحسين رفض تردّد الخيال image frequency .
3. تحسين نسبة إشارة المعلومات إلى التشويش SNR.
4. تحسين الإختيارية، أي تحسين حجب الإشارات القريبة غير المرغوبة.
5. ربط أفضل للمستقبل مع الهوائي (وهي ميزة مهمّة في نطاق VHF و ما فوقها).
6. منع التردّدات الزائفة من الدخول إلى المازج و التي تسبّب إنتاج تردّد متوسط f_i من إشارة غير مرغوبة.
7. منع الإشعاع من المهتّز المحلي عبر هوائي المستقبل.



شكل(b10-1) مكبّر RF للتردّدات العالية جدا VHF

الحساسية Sensitivity:

تعرّف حساسية المستقبل الراديوي بأنّها القابلية على تكبير الإشارات الضعيفة، وتعرّف عادة بقيمة الجهد الذي يجب تطبيقه على أطراف مدخل المستقبل بحيث يعطي القدرة الخارجة المعيارية المقاسة على أطراف المخرج.

لمستقبلات البث الإذاعي AM بعض المعايير القياسية. فبتطبيق موجة صوتية جيبية ذات تردّد 400Hz معدّلة بنسبة 30% على دائرة مستقبل، فإنّ المعيار لإشارة المخرج هو 50mw، و في جميع المستقبلات يتمّ تمثيل السمّاعة بالمقاومة المكافئة لها.

تحدّد حساسية المستقبلات السوبر هيترودينية للبث الترفيهي بقيمة 150mv بينما تكون للأنظمة غير الترفيهية بقيمة 1pico-volt أو افضل، ومن أهمّ العوامل التي تحدّد حساسية هذه المستقبلات هي:

1. كسب مكبّر (مكبّرات) مرحلة IF.
2. كسب مكبّر RF، إن وجد.

الإختيارية Selectivity:

إختيارية المستقبل هي قابليته على رفض الإشارات المتقاربة غير المرغوبة، وبشكل عام تحدّد الإختيارية باستجابة مرحلة IF، و يلعب المازج ودائرة مدخل مكبّر RF دور بسيط في ذلك، من الجدير بالذكر أنّ الإختيارية هي التي تحدّد رفض القنوات المتجاورة في المستقبل.

وتعتمد الإختيارية على استجابة مكبّر RF و على مولّد الإشارة، ولتحسين الإختيارية يتمّ وضع دائرة توليف قبل المكبّر RF لتحسين الربط بين المستقبل والهوائي ولزيادة القدرة، حيث يقوم مكبّر RF على تكبير الإشارة وتقوم دائرة التوليف الثانية على تمرير الإشارة المطلوبة و حجب الترددات الأخرى.

تردّد الخيال و رفضه image frequency and its rejection:

التردّد المولّد في المهتز المحلّي في مستقبلات أنظمة البث القياسية يكون أكبر من تردّد الإشارة القادمة، حيث يقوم المهتز في جميع الأوقات بتوليد تردّد مساوي لتردّد الإشارة القادمة + التردّد المتوسط للنظام، أي أن:

$$f_L = f_s \pm f_i$$

أو

$$f_i = f_L \pm f_s$$

حيث:

f_L: تردّد المهتز المحلي.

f_s: تردّد الإشارة القادمة (المستقبلة).

f_i: التردّد المتوسط للنظام.

ويعرّف تردّد الخيال f_{si} بأنّه تردّد الإشارة + ضعف التردّد المتوسط، أي أنه يساوي:

$$f_{si} = f_s + 2f_i$$

يتم التخلص من تردّد الخيال بدائرة توليف (tuned circuit)، و يعرّف رفض تردد الخيال بأنّه نسبة الكسب عند تردّد الإشارة إلى الكسب عند تردّد الخيال، و يعطى بالمعادلة التالية:

$$\alpha = \sqrt{1 + Q^2 P^2}$$

حيث:

$$P = \frac{f_{si}}{f_s} - \frac{f_s}{f_{si}}$$

وQ هي معامل الجودة المحسوب من دائرة التوليف، إذا احتوى المستقبل على مرحلة RF فإنّنا نتحدث في هذه الحالة عن دائرتي توليف، و كلاهما تولفان على التردّد f_{si}، وفي هذه الحالة يتم حساب رفض تردّد الخيال بنفس الصيغة السابقة وستكون قيمة الرفض النهائي مساوية لحاصل ضرب القيمتين، أي:

$$\alpha_T = \alpha_1 \times \alpha_2$$

فالعاملين الذين يحدّدان نسبة رفض تردّد الخيال هي P و Q، و العامل الرئيسي لتحسينه هو Q، حيث لا يمكننا التحكم بشكل فعّال بقيمة P، من المقترحات لتحسين الرفض:

1. إضافة دائرة توليف ثانية لزيادة Q، سيحدث بذلك تخفيض لعرض النطاق و بالتالي زيادة الإختيارية، ولذلك يتم إستخدام مصافي ميكانيكية.
2. زيادة التردّد المتوسط f_i ، حيث نعمل بذلك على زيادة النطاق بين تردّد الإشارة المرغوبة و تردّد الخيال $(f_{si} = f_s + 2f_i)$.
3. إستخدام مصافي كريستالية حادّة مع دوائر التوليف.

مثال1 : مستقبل بث سوبر هيتروديني يحتوي مرحلة RF، معامل الجودة لدائرة الربط مع الهوائي تساوي 100، إذا كان التردّد المتوسط للنظام 455 KHz، جد:

أ. تردّد الخيال و نسبة رفضه عند التردّد 1000 KHz.
ب. تردّد الخيال و نسبة رفضه عند التردّد 25 MHz.

الحل:

أ. نلاحظ أنّ تردّد الإشارة المستقبلة يقع في حزمة التردّدات المتوسطة MF. ويمكن حساب تردّد الخيال وفق العلاقة المعطاة على النحو التالي:

$$f_{si} = f_s + 2f_i$$

$$= 1000 + 2\times455$$

$$= 1910\ KHz$$

ولحساب رفض هذا التردّد لا بد أولا من حساب P:

$$P = \frac{f_{si}}{f_s} - \frac{f_s}{f_{si}}$$

$$= \frac{1910}{1000} - \frac{1000}{1910}$$

$$= 1.91 - 0.524 = 1.386$$

ويمكن الآن حساب الرفض:

$$\alpha = \sqrt{1+Q^2P^2}$$
$$\sqrt{1+(100)^2(1.386)^2}$$
$$=138.6$$

وعند حساب هذه القيمة بالـ dB نجد انها تكافئ 42dB ، وهي قيمة كافية للمستقبلات الترفيهية العاملة في حزمة MF .

ب. نلاحظ أنّ تردّد الإشارة المستقبلة يقع في حزمة التردّدات العالية HF. ويمكن حساب تردّد الخيال وفق العلاقة المعطاة على النحو التالي:

$$f_{si} = f_s + 2f_i$$
$$= 25 + 2\times0.455$$
$$= 25.91 \text{ MHz}$$

مرة أخرى، لحساب رفض هذا التردّد لا بد أولا من حساب P:

$$P = \frac{f_{si}}{f_s} - \frac{f_s}{f_{si}}$$
$$= \frac{25.91}{25} - \frac{25}{25.91}$$
$$= 0.0715$$

ويمكن الآن حساب نسبة رفض هذا التردّد:

$$\alpha = \sqrt{1+Q^2P^2}$$
$$= \sqrt{1+(100)^2(0.0715)^2}$$
$$= 7.22$$

وبمقارنة هذه القيمة مع سابقتها في الفرع (أ)، يمكننا استنتاج أنّ نسبة الرفض هذه غير كافية للمستقبلات العمليّة في نطاق HF.

مثال2: لغرض تحسين نسبة الرفض لتردّد الخيال في المثال السابق عند التردّد 25MHz كما عند التردّد 1000 KHz، احسب:

أ. معامل الجودة لدائرة التوليف الثانية على مخرج مكبّر RF.

ب. التردّد المتوسط الجديد الذي نعمل عليه (إذا لم يحتوي المستقبل على مكبّر RF)

الحل:

أ. من المعلوم مسبقا من المثال السابق أنّ رفض تردّد الخيال في مرحلة RF يساوي 7.22 و أنّ نسبة الرفض النهائية المطلوب تحقيقها هي 138.6 وبالتالي فإنّ نسبة الرفض لدائرة التوليف الثانية يساوي:

$$\alpha_T = \alpha_1 \times \alpha_2$$

$$\alpha_2 = \frac{\alpha_T}{\alpha_1} = \frac{138.6}{7.22} = 19.2$$

ويمكن الآن حساب معامل الجودة لدائرة التوليف الثانية بناءاً على نسبة الرفض الجديدة:

$$\alpha_2 = \sqrt{1 + Q_2^{\,2} P^2}$$

$$19.2 = \sqrt{1 + Q_2^{\,2} (0.0715)^2}$$

$$Q_2^{\,2} = \frac{(19.2)^2 - 1}{(0.0715)^2}$$

$$Q_2 = 268$$

ب. عدم وجود مكبّر RF يعني عدم تغيّر معامل الجودة الأصلي، و أنّ التغير الجديد يحدث في قيمة P بحيث تساوي قيمة P القديمة و بالتالي فإنّ $\frac{f_{si}'}{f_s'} = \frac{f_{si}}{f_s}$، أي أنّ:

$$\frac{f_{si}'}{f_s'} = \frac{f_{si}}{f_s}$$

$$\frac{25 + 2f_i'}{25} = \frac{1910}{1000} = 1.91$$

$$f_i' = \frac{1.91 \times 25 - 25}{2} = 11.4MHz$$

نلاحظ أنّ التردّد المتوسط الناتج قريب من القيمة المعيارية للتردّد المتوسط للنظام FM حتّى يتحقق رفض تردّد الخيال بنفس النسبة في المثال السابق.

التردّدات المتوسطة و مكبّر IF

يتم الحصول على التردّدات المتوسطة من مزج تردّد الإشارة القادمة مع تردّد المهتز المحلي (local oscillator)، يوجد انواع عديدة للمهتزّات المستخدمة وأكثرها شيوعا مهتز هارتلي، و يوجد مرحلتي IF تعمل كمكبّر.

تعدّ عادة التردّدات المتوسطة في نظام الإستقبال تسوية وسطية، حيث يوجد العديد من الأسباب التي توجب أن لا تكون التردّدات عالية جدا أو منخفضة جدا وإنّما بقيمة وسطية بين الاثنين، وفي ما يلي العوامل الرئيسية التي تؤثر على إختيار التردّد المتوسط في أي نظام عملي:

1. إذا كان التردّد المتوسط المستخدم عالي جدا، فإنّ الإختيارية تصبح ضعيفة وحجب تردّدات القنوات المجاورة يصبح ضعيف أيضا ما لم يتم إستخدام مصافي بتردّدات قطع حادّة في المرحلة المتوسطة.

2. كلّما كان التردّد المتوسّط أصغر يصبح حجب الترددات غير المرغوبة اضعف ($\frac{f_{si}}{f_s}$).
3. إذا كانت قيمة التردّد المتوسط منخفضة جدا فإنّ الإختيارية تكون حادة جدا، هذه المشكلة تزداد لانّ معامل الجودة Q يجب أن يكون منخفض عندما يكون التردّد المتوسط منخفض، و بالتالي يكون كسب كل مرحلة قليل. و لذلك فإنّ المصمّم يميل إلى رفع Q اكثر من أن يزيد عدد مراحل التكبير IF.
4. إذا كانت قيمة التردّد المتوسط منخفضة جدا، ففي المقابل لا بد أن تكون إستقرارية المهتز المحلي عالية لأنّ أي إنحراف في التردّد سيتناسب أكثر مع التردّد المتوسط الصغير أكثر من تناسبه مع التردّد المتوسط العالي.
5. يجب أن لا يقع التردّد المتوسط في مدى تردّدات التوليف لنظام الإستقبال، و في غير ذلك ستحدث حالة من إنعدام الاستقرار في النظام و سيصبح من المستحيل توليف النظام إلى التردّد المتوسط.

التردّدات المتوسطة IF المستخدمة عمليا:

تستخدم الترددات المعيارية التالية حول العالم في أنظمة الإتصالات المختلفة:

1. مستقبلات البث المعياري AM: توليف التردّدات من 540 KHz إلى 1650 KHz، و ربّما من 6MHz إلى 18 MHz، كذلك للموجات الطويلة في النظام الأوروبي في النطاق من 150 KHz إلى 350 KHz. وتستخدم التردّدات المتوسطة في المدى ما بين 438 KHz و 465 KHz. والتردّد 455 KHz هو الأكثر شيوعا.
2. انظمة الإستقبال للبث AM,SSB: يخدم هذا المستقبل الموجات القصيرة أو إستقبال الإشارات VHF، ومدى التردّد المتوسط الأول عادة بين 1.6MHz و2.3MHz، او يكون فوق 30 MHz.
3. أنظمة البث المعياري FM: توليف التردّدات من 88MHz إلى 108MHz والتردّد المتوسط الأكثر شيوعا هو 10.8 MHz

4. مستقبلات الإشارة التليفزيونية: توليف التردّدات في نطاق VHF ما بين 45 MHz و 223 MHz، و في نطاق UHF ما بين 420 MHz إلى 940 MHz، ومدى التردّد المتوسط الأول عادة بين 26MHz و 46MHz. والتردّدان 36MHz و 40MHz هما التردّدان المتوسطان الأكثر شيوعا في النظام الأوروبي.
5. في أنظمة إستقبال الرادار و الميكروويف، تردّدات التشغيل في المدى من 1GHz إلى 10GHz، و تعتمد قيمة التردّدات المتوسطة على التطبيق المستخدم والتردّدات المتوسطة الأكثر شيوعا هي 30 MHz و 60 MHz و 70 MHz. والتردّد المتوسط لأنظمة الأقمار الصناعية هو 500 MHz.

مكبّر التردّدات المتوسطة IF amplifier:

تثبّت مكبّرات IF للعمل على تردّدات ثابتة و تحقّق وظيفة مهمّة و هي رفض التردّدات المجاورة غير المرغوبة و تكبير الإشارة المرغوبة ذات التردّد المتوسط، عادة عند إستخدام الترانزيستور FET و دوائر المكبّرات IF المتكاملة يتم إستخدام دوائر توليف مزدوجة، بينما تستخدم مرحلة توليف واحدة مع الترانزيستورات ثنائية القطبية.

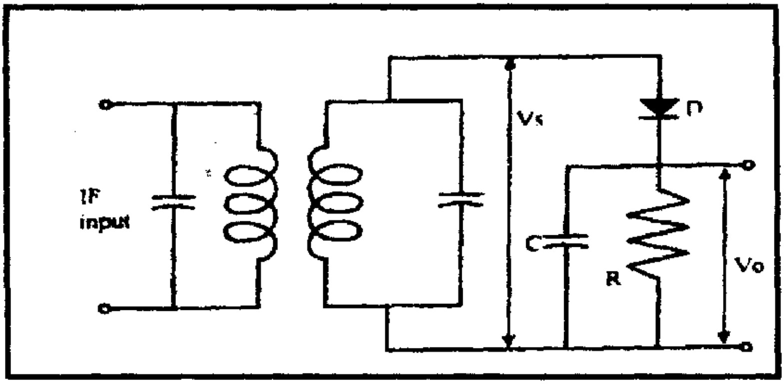
الكشف والتحكم الآلي بالكسب:

يعدّ الديود المكوّنة الأكثر شيوعا المستخدمة كعاكس تعديل (كاشف detector) في أنظمة AM. و الشكل (1-11) يبيّن دائرة الكشف، حيث يتم إختيار قيمة C بقيمة صغيرة بينما يتمّ إختيار قيمة R كبيرة، و يتم توصيل المكونتان (R-C) على التوازي ويؤخذ مخرج الدائرة (الذي يمثّل إشارة المعلومات المستخرجة) على طرفيهما، عند كل قيمة عظمى V_s (موجبة) لدورة RF يُشحن المكثف حتى يصل أعلى جهد له إلى V_{max}:

$$V_{max}=V_s-V_D$$

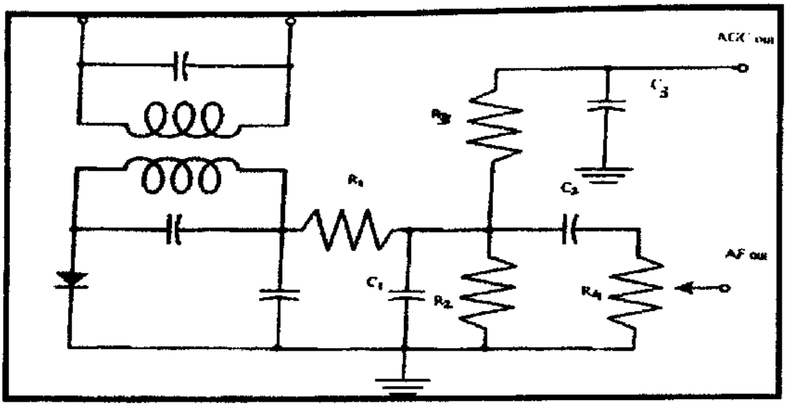
حيث V_D هو هبوط الجهد للديود.

وبين كل قمّتين تُفرّغ الشحنة من المكثف خلال المقاومةR، و يكون الناتج V_o الذي يمثّل إشارة المعلومات المكتشفة، من الجدير بالذكر أنّ الثابت الزمني لدائرة RC يجب أن يكون كبير بشكل كافٍ لتخفيض جهد التموج (ripple) قدر الإمكان.



شكل(1−11) دائرة الكاشف بإستخدام الديود

إنّ للديود البسيط بعض السيئات في عمله ككاشف للإشارة. و يعود ذلك لكون الإشارة الناتجة، بالإضافة لكونها تتناسب مع إشارة المعلومات، فهي تحتوي على مركّبة DC (و التي تمثّل متوسّط إتساع غطاء الإشارة المعدّلة و تموّج RF). على أي حال، يمكن التخلص من المركبة غير المرغوبة في الكاشف العملي و الإبقاء على إشارة المعلومات فقط. و الشكل (1−12) يوضّح الدائرة العملية للكاشف بإستخدام الديود، حيث $R_1\text{–}C_1$ تمثّل دائرة مصفى تمرير حزمة تردّدات منخفضة (LPF) للتخلص من اي تموّج. و C_2 يسمّى blocking capacitor و يعمل على منع مرور المركّبة DC إلى المخرج، و $R_3\text{–}C_3$ تمثّل دائرة مصفى تمرير حزمة تردّدات منخفضة (LPF) ليمنع مرور التردّدات الصوتية و يمرّر الإشارة الناتجة إلى وحدة التحكم بالكسب الآلي، أمّا R_4 فهي وحدة التحكم بالصوت volume control، حيث تخرج منها الإشارة ذات التردّدات الصوتية إلى السمّاعة، والإشارة الناتجة من هذا الكاشف تكون خالية من التموّج و المركبة المباشرة DC.



الشكل (1-12) الدائرة العملية للكاشف بإستخدام الديود

AGC: (Automatic Gain Control): نظام التحكم البسيط بالكسب

هو النظام الذي يتم بواسطته التحكّم الكامل بالكسب (التكبير) في المستقبل الراديوي، و بشكل آلي بحيث يتم التحكم بالتغيّر في شدّة الإشارة و يبقى مخرج الراديو ثابت بشكل فعّال.

يظهر نوعين من التشويه distortion في كواشف الديود، ينتج الأول بسبب عدم تساوي الحمل ac و الحمل dc، و ينتج الثاني عن المركّبة الردية لممانعة الحمل عند التردّدات الصوتية العالية.

وكما ان معامل التعديل يعطى بالعلاقة $(m_a = \frac{V_m}{V_c})$ فإنّ معامل الكشف (التعديل العكسي) يعطى بالعلاقة:

$$m_d = \frac{I_m}{I_c} = \frac{\frac{V_m}{Z_m}}{\frac{V_c}{R_c}} = m_a \frac{R_c}{Z_m}$$

حيث:

R_c: المقاومة DC للديود و تساوي $R_c=R_1+R_2$

Z_m: المانعة الأومية للحمل الصوتي للديود و تساوي
$Z_m=R_1+R_2//R_3//R_4$

وبما أنّ أكبر قيمة ممكنة لمعامل التعديل العكسي للديود هي $m_d=1$، فإنّ أكبر قيمة لمعامل التعديل في المرسل هي:

$$m_{a(\max)} = m_{d(\max)} \frac{Z_m}{R_c} = \frac{Z_m}{R_c}$$

والمثال التالي يوضّح هذه الحسابات. ملاحظة: يعمل المحوّل transformer كمحوّل هبوط لغرض تقليل المانعة.

مثال3: لدائرة الكاشف العملية في الشكل (1–12) كانت قيم المقاومات $R_1=110K\Omega$, $R_2=220K\Omega$, $R_3=470\ K\Omega$, and $R_4=1K\Omega$، ما أقصى قيمة ممكنة لمعامل التعديل الذي يمكن أن يطبّق على دائرة الكاشف (الديود) بدون أن يحدث قطع للقمة peak clipping؟

الحل:

تحسب قيمة R_c وفق العلاقة الرياضية التالية:

$R_c = R_1 + R_2 = 110 + 220 = 330\ K\Omega$,

ويتم حساب Z_m وفق العلاقة الرياضية التالية:

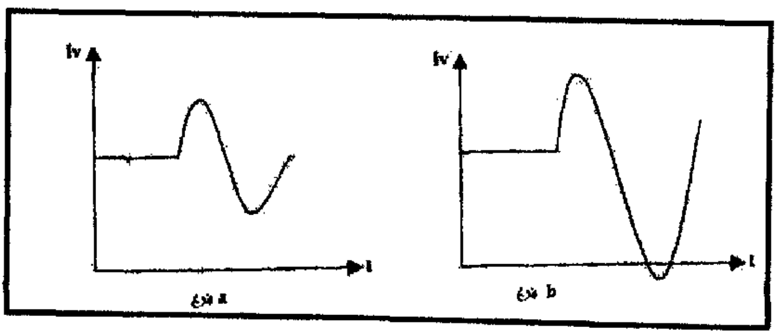
$$Z_m = \frac{R_2 R_3 R_4}{R_2 R_3 + R_2 R_4 + R_3 R_4} + R_1 = 240K\Omega$$

وبالتالي فإنّ أقصى قيمة ممكنة لمعامل التعديل تصبح:

$$m_{a(\max)} = \frac{Z_m}{R_c} = \frac{240}{330} = 0.73$$

أي أنّ أكبر نسبة مئوية لمعامل التعديل هي 73%. و بما أنّ معامل التعديل لا يتجاوز عمليا 70% للحيول دون حدوث تشويه للإشارة distortion، فإنّ نسبة التعديل التي حصلنا عليها تعدّ مقبولة جدا مما يعني كفاءة تصميم الكاشف، و المتحكم بالتعديل هو Z_m، الشكل (1– 13) يوضّح الإشارة الناتجة من إرسال بمعامل تعديل صغير (فرع a)، و الإشارة الناتجة من إرسال بمعامل تعديل كبير حيث يحدث قطع للقمة السالبة (فرع b).

وفي حال توصيل إشارة المخرج من الكاشف إلى مكبّر للتردّدات الصوتية (Audio Amplifier) فإنّ ذلك سيؤدي إلى تخفيض الممانعة الأومية للحمل الصوتي للديود بسبب توصيل مقاومة القاعدة للترانزيستور على التوازي مع المقاومة R_4 التي تمثّل وحدة التحكم بالصوت، و عادة يكون مكبّر التردّدات الصوتية من الصنف C (class C).



شكل(1– 13) الإشارة الناتجة عن

a) معامل تعديل صغير b) معامل تعديل كبير

مستقبلات أنظمة الإتصالات (غير الترفيهية):

الغرض الرئيسي من هذه المستقبلات إستقبال الإشارة لأنظمة الإتصالات لغير الأغراض الترفيهية (مثل الإتصالات العسكرية والملاحة البحرية والجوية)، وهو عبارة عن نظام إستقبال مصمّم لإستقبال الترددات العالية و المنخفضة بشكل افضل من الأنواع المستخدمة في المنازل. و من مميزات هذا النظام:

1. الكسب العالي.
2. عرض النطاق الواسع.
3. الحساسية العالية.
4. إستخدام ترددين متوسطين f_{i1}=1.7 MHz و الثاني f_{i2}=200 KHz.

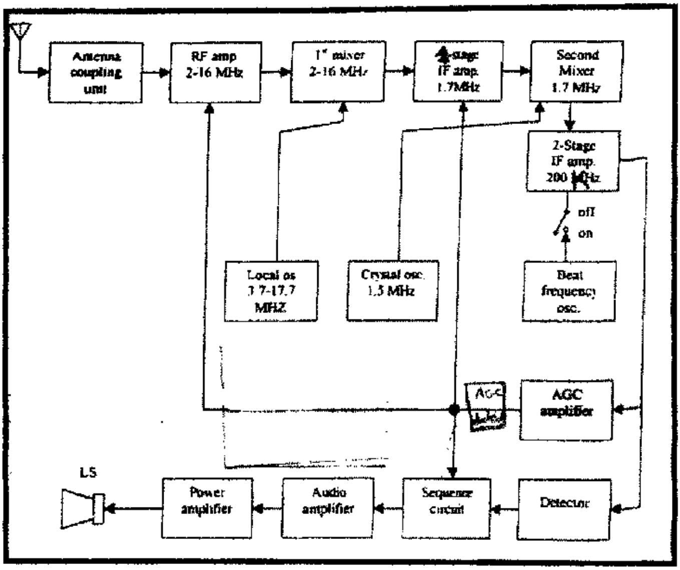
والشكل (1– 14) يوضّح المخطط الصندوقي لمستقبل نظام الإتصال المعدّ للأغراض غير الترفيهية، و الذي يوضّح الشبه بينه وبين المستقبل السوبر هيتروديني مع بعض الإضافات و الخصائص التي تمكّنه من أداء مهامه، فهو يحتوي على مكوّنات المستقبل السوبر هيتروديني الرئيسية و هي المازج والمهتز المحلي ومكبّر الترددات المتوسطة.

والغرض من مرحلة RF (كما في المستقبل السوبر الهيتروديني)، هو انتقاء التردّد المرغوب و حجب الترددات غير المرغوبة، امّا رابط الهوائي (antenna coupling) فيقوم بالربط بين الهوائي و دائرة الإستقبال.

ووظيفة AGC تثبيت قيمة إشارة المخرج بمستوى مستقر، ومن الاضافات التي نميّزها في هذا المستقبل sequence circuit، فالمستقبل يلتقط الإشارة طول الوقت دون توقف و في حال عدم وجود إشارة تعمل هذه الدائرة على منع الأزيز و"الوشّة"، وأساس عملها فصل للمكبّر لكي لا يكبّر إشارة التشويش الداخل، و يتم ذلك من خلال الفولتية DC القادمة من وحدة AGC.

من الإضافات الأخرى دائرة Beat frequency OSC، ففي حال التقاط إشارة وكانت تحتوي على إشارة تشويش فإنّ عمل هذه الدائرة التوليف إلى أن يتم الحصول على إشارة واضحة و سليمة.

ويقوم مكبّر AGC على تكبير الإشارة القادمة حيث تكون صغيرة القيمة، بينما يعمل كاشف AGC على الكشف على الإشارة القادمة ذات القيمة الصغيرة.



شكل(1 – 14) المستقبل في أنظمة الإتصالات المعدّة للأغراض غير الترفيهية

1.1.4 الأنظمة الراديوية ذات التعديل الترددي FM:

المرسلات Transmitter FM:

يوجد طريقتين لعملية التعديل الترددي (مباشرة وغير مباشرة)، بالنسبة للطريقة المباشرة فالمبدأ فيها توفير دائرة تحول التغير في تردد الإشارة الداخلة إلى تغير في الفولتية الخارجة. والدائرة التي تعمل هذا العمل هي مهتز يتم التحكم بتردده بواسطة فولتية Voltage Control Oscillator (VCO)، ولتحقيق هذا

الغرض يستخدم غالباً مهتز Oscillator عالي الثبوتية والذي يسبب مشكلة للمرسلات التي تستخدم الطريقة المباشرة وهي أنه لايمكن الحصول على التردد الحامل fc بواسطته وبالتالي يجب إضافة أجهزة ذات تردد عالي الثبوتية من مهتز كريستالي Crystal Oscillator.

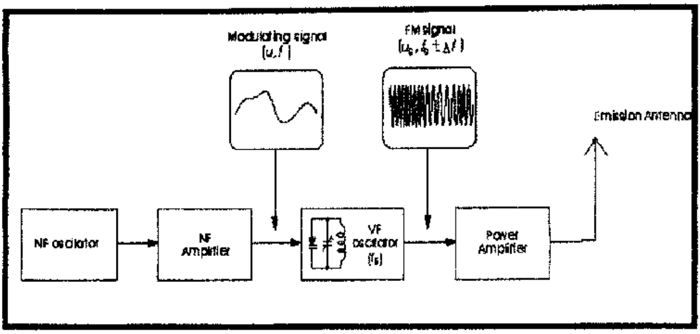
أما الطريقة غير المباشرة فهي تعتمد على الحصول على موجة معدلة تعديل ترددي ذات نطاق ضيق Narrow Band FM (NBFM)، وفي مرحلة تالية يتم إزاحة هذه الموجة المعدلة إلى ترددات أعلى بواسطة ضارب (أو مازج للإشارة) لتحميل الإشارة على التردد المطلوب.

بداية تمر الموجة المحمولة على مصفى تمرير الحزمة المنخفضة (LPF) والذي يحدد تردد الموجة بتردد القطع للمصفى لضمان عدم مرور أية إشارات غير مرغوبة ترددها أعلى من تردد الإشارة الأصلية، ثم تمر الموجة على المعدل الترددي الموصول بمهتز كريستالي عالي التردد (70 MHz) وان كان غير كافي لتوليد الموجات الميكروية، فتكون الإشارة الناتجة من المعدل Modulater هي إشارة (NBFM) اي ان نسبة التعديل الترددي mf في هذه المرحلة تكون صغيرة وبالتالي التشويه الناتج يكون قليل.

ثم يقوم المازج برفع تردد إشارة (NBFM) وإزاحته إلى التردد الميكروي المطلوب اي الحصول على موجة معدلة تعديل ترددي واسع النطاق Wide Band FM (WBFM)، ويقوم المصفى الأخير بتمرير الموجة ذات الترددات المرغوبة من بين الترددات الناتجة بعد المازج.

يوضّح الشكل (a15-1) المخطّط الصندوقي لمرسل راديوي FM. لا يختلف الوجه العام لهذا المخطّط عن سابقه لنظام AM ، مع إختلاف أسلوب التعديل، حيث يستخدم معدّل ترددي (فاراكتور)، و هو عبارة عن ديود متغيّر السعة (capacitive) وفقا لتغير الفولتية المطبّقة على طرفيه، و التي تمثّل إشارة التردد

المخفض (المعلومات)، و يتم هنا أيضا تكبير الإشارة المعدّلة الناتجة بمكبّر قدرة للحصول على القدرة الضرورية لنقل الإشارة. التردد الحامل للاشارة الصوتية في مستقبل FM تتراوح في النطاق من 88 MHz إلى 108 MHz، و اكبر إزاحة ترددية هي ±75 kHz.



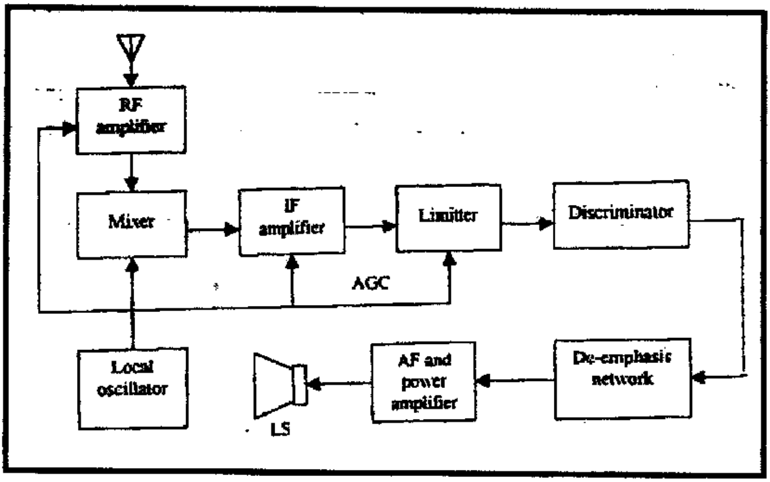
شكل(1–a15) المخطط الصندوقي لمرسل راديوي FM

المستقبلات FM Receivers:

مستقبلات البث الراديوي FM هي من النوع السوبر هيترودايني، و الشكل (1–b15) يبيّن المخطط الصندوقي للمستقبل FM و الذي يشبه لحد كبير مستقبل AM. و الإختلافات الجوهرية بينهما هي:

1. تردّدات التشغيل في نظام FM أكبر بكثير.
2. نحتاج إلى دائرة تحديد limiting ودائرة تاكيد لاحق de–emphasis في نظام FM.
3. طرق تعديل عكسي مختلفة تماما عن تلك المستخدمة في نظام AM، حيث تستخدم دائرة Discriminator الذي يحوّل التغير في التردّد إلى تغير في الإتساع.

4. طرق مختلفة للحصول على AGC، و لكن تبقى لها نفس الوظيفة و هي المحافظة على مستوى مستقر للإشارة الناتجة.

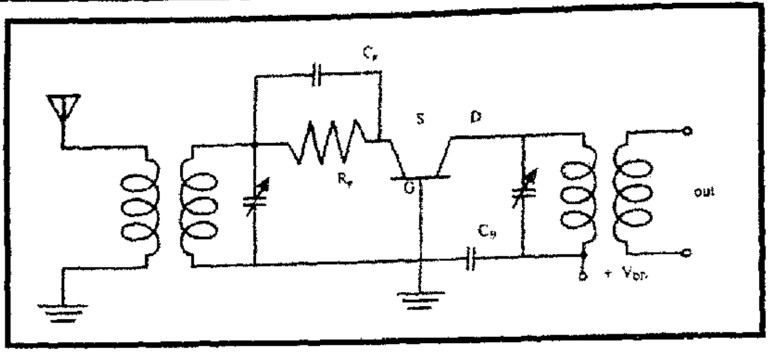


الشكل (1–b15) المخطط الصندوقي للمستقبل FM

مكبّر RF

يستخدم مكبّر RF دائما في مستقبلات FM. و الغرض الرئيسي منها تحسين نسبة الإشارة إلى نسبة التشويش، كما يتم إستخدامها لتحقيق التوافق بين المانعة الداخلية للمستقبل وبين الهوائي، ولتحقيق هذه المهام يتم إستخدام المكبّر ذو البوابة المشتركة CG أو ذو القاعدة المشتركة CB والموضّحة في الشكل (1–16).

عمل الدائرة التوليف بعد الهوائي (الملف و المكثف المتغير) هو التوليف لاخيار التردّد المرغوب في ما يلي شرح لمراحل الإستقبال FM لمقارنتها بنظيرتها في AM.

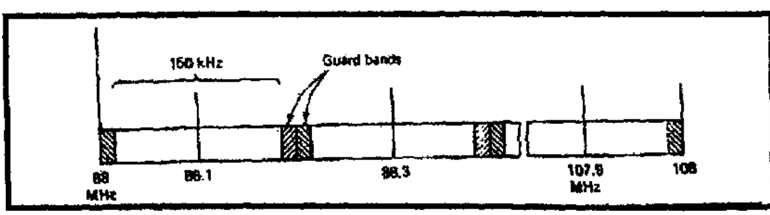


شكل (1– 16) دائرة المكبّر ذو القاعدة المشتركة CB

الترددات المستخدمة:

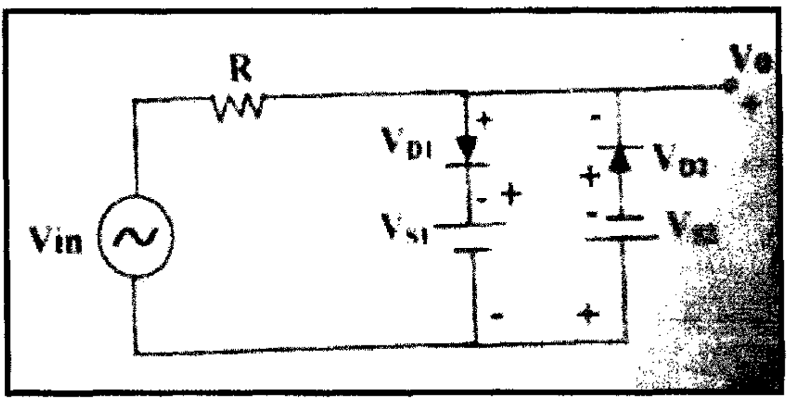
دائرة المهتز تولّد الترددات المستخدمة في مدى VHF . و المرحلة المتوسطة في نظام FM، من حيث الغرض منها و عملها، لا تختلف كثيرا عن نظيرتها في نظام AM.

ولكن قيمة ترددات المرحلة المتوسطة و عرض نطاق النظام تختلف عن نظيرتها في نظام AM. فمستقبل نظام FM يعمل في مدى ترددات (التوليف) من 88MHz إلى 108MHz ويتردد متوسط 10.8 MHz . وعرض النطاق (BW) للقناة الراديوية FM القياسي 200 KHz، والشكل (1– 17) يبيّن توزيع هذا النطاق حيث يخصّص نطاق حماية (لعدم التداخل بين القنوات المتجاورة) قيمته 50 KHz.



شكل(1–17) عرض النطاق للقناة الراديوية المعدّلة تعديلا ترددّيا FM

كم ذكرنا سابقا فإنّ من أهم الإختلافات بين المستقبل للموجة FM والمستقبل للموجة AM هي دائرة المحدّد limiter، وهي الدائرة التي تكون قيمة مخرجها ثابت لكل قيم المدخل فوق حد حرج معيّن. و وظيفة المحدّد في مستقبل FM هو التخلص من أي تغيرات في إتساع الإشارة والناتجة عن التشويش أو غيره من الأسباب، حيث أن الإشارة المعدّلة تعديلا تردّديا تكون ثابتة في الإتساع ومتغيرة التردّد تبعا إلى إشارة المعلومات المحمولة، فالمحدّد هو دائرة القص (clipping) التي يكون مخرجها ثابت القيمة بغضّ النظر عن التغير في قيمة إشارة المدخل (ضمن قيم معيّنة)، و من أكثر الدوائر الالكترونية شيوعا كمحدّدات هي الدائرة المكوّنة من وصلتين ثنائيتين (ديودين) منفصلين و الموضّحة في الشكل (1– 18)، حيث لا يزيد جهد مخرج الدائرة الموجب عن القيمة ($V_{s1}+V_{D1}$)، و لا يقل جهدها السالب عن القيمة ($V_{s2}+V_{D2}$).



شكل(1– 18) دائرة محدّد موجة مزدوج limiter

المعدّل العكسي للموجة FM:

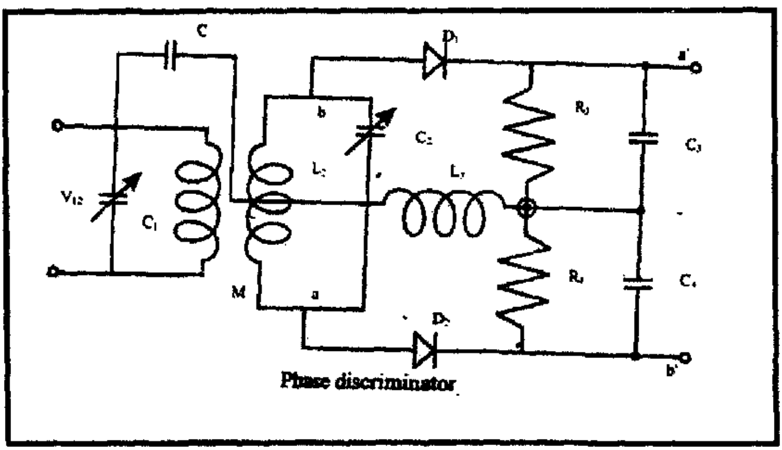
الغرض من المعدلات العكسية استخلاص الإشارة المحمولة من الإشارة المعدلة FM. اي اننا نحتاج لهذا الغرض إلى دائرة تحول التغير في التردد إلى تغير مقابل في الفولتية وتسمى هذه الدائرة "المميز" (Discriminator) والتي تتكون

أساساً من دائرة إيجاد ميل (Derivation) الإشارة المعدلة ومن ثم الكشف عن هذا الميل الذي يشكل الإشارة المحمولة (Envelope Detector)، ولكن الإشارة المعدلة FM تتعرض إلى التذبذب في الاتساع أثناء عملية الإرسال، ويجب التخلص أولاً من هذا التذبذب قبل إدخال الإشارة المعدلة إلى المميز. والدائرة المسؤولة عن ذلك تدعى "المحدد" (Limiter). واهم الدوائر المستخدمة لهذا الغرض هي دائرة (Foster– Sealy) الذي يعطي علاقة أكثر خطية ولكن يجب أن يسبق بمحدد اتساع، وكاشف النسبة (Ratio–Detector) التي تتكون من الكاشف والمحدد.

إن الدوائر الأساسية المستخدمة للتعديل العكسي الترددي هي:

1. مميز التردد Discriminator.
2. المعدل العكسي (PLL) باستجدام التغذية الخلفية Feed Back.

ويمكن توضيح المخطط الصندوقي لدائرة مميز التردد بالشكل (1– 19).



شكل (1– 19) دائرة phase discriminator

حيث يتكون من دائرتي إيجاد ميل (Slope) الإشارة المعدلة FM ثم إدخال الإشارة الناتجة على كاشف الغطاء (Envelope Detector) الذي يستخلص الإشارة المطلوبة التي أصبحت تمثل اتساع (غطاء) الإشارة المشتقة بواسطة دائرة الميل، وتسمى هذه الخطة "مميز التردد المتوازن"، وبالمعادلات الرياضية يمكن توضيح طريقة عمل هذه الخطة، فالإشارة المعدلة تعديل ترددي لها العلاقة التالية :

$$V(t) = Vc \sin(\omega_c t + \Delta f/fm \sin(\omega_m t))$$

وبتمرير هذه الإشارة على دائرة ايجاد الميل، نحصل على مشتقة هذه العلاقة على النحو التالي:

$$V_d(t) = Vc\,(\omega_c + 2\pi\Delta f \cos(\omega_m t)) \cos(\omega_c t + \Delta f/fm \sin(\omega_m t))$$

ومن الواضح أن اتساع العلاقة الأخيرة يمثل الموجة المحمولة المراد استرجاعها والتي تشكل غطاء الموجة الجيبية، وبالتالي يمكن الحصول عليها بواسطة دائرة كاشف الغطاء (Envelope Detector)، فنحصل على الإشارة :

$$V_d(t) = Vc\,(\omega_c + 2\pi\Delta f \cos(\omega_m t))$$

ويمكن التخلص من الجزء DC في الإشارة باستخدام مكثف (Blocking Capacitor).

ومميز التردد المتوازن له عدة أنواع منها:

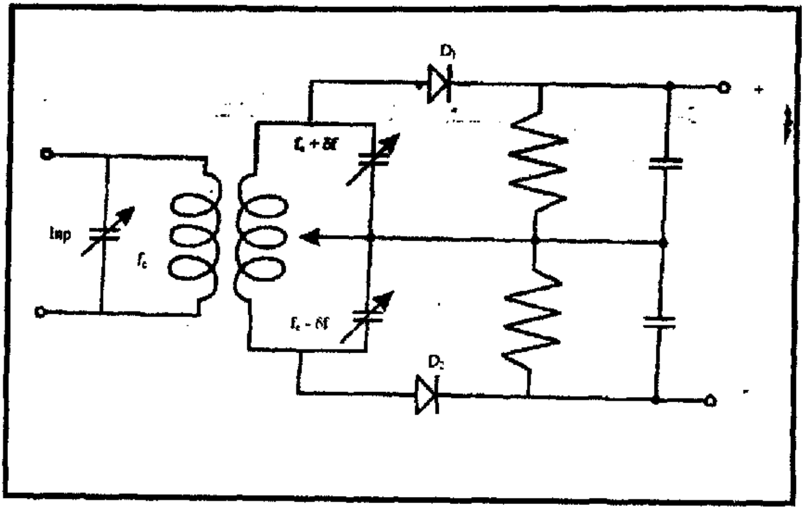
أ. كاشف الميل (Slope Detector).

ب. كاشف النسبة (المعدل العكسي من نوع Travis).

ج. مميز (Foster–Sealy).

كاشف الميل Slope Detector:

يوضح الشكل(1– 20) دائرة كاشف الميل.



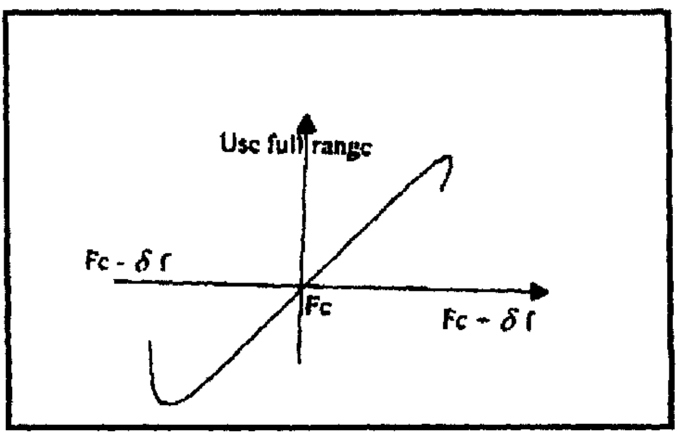
شكل (1– 20) كاشف الميل المتوازن balanced slope detector

حيث يسبب الاختلاف في التردد للإشارة المعدلة FM إلى اختلاف في اتساع الإشارة الخارجة من كاشف النسبة، وتتلخص طريقة عمل هذه الدائرة بالنقاط التالية:

1. يستخدم كاشف النسبة (Slope Detector) دائرة توليف واحدة (Single Tuned Circuit) والتي لها تردد يميل قليلاً عن التردد الحامل fc، مثلاً لو كان التردد الحامل يساوي (10.7MHz) فإن تردد الرنين (Resonance Frequency) يولف ليكون (10.8 MHz).
2. عندما يكون التردد الداخل مساوياً للتردد الحامل fc فإن الفولتية الناتجة تكون مساوية لنصف أقصى فولتية محتملة من الدائرة.

3. عندما يزيد تردد الإشارة المعدلة عن التردد الحامل fc بمقدار ($+\Delta f_c$) فإن تردد الإشارة يتحرك إلى الأعلى على منحنى الاستجابة مسبباً زيادة في الفولتية على المخرج. عندما يقل تردد الإشارة المعدلة عن التردد الحامل fc بمقدار ($-\Delta f_c$) فإن تردد الإشارة يتحرك إلى الأسفل على منحنى الاستجابة مسبباً نقصان في الفولتية على المخرج.
4. إن الإشارة الناتجة في النهاية لازالت معدلة ترددياً ولكن اتساعها يتغير تبعاً للقيمة اللحظية للإشارة المحمولة، والتي يتم الكشف عنها بكاشف الغطاء (Envelope Detector) المتكون من الوصلة الثنائية (Diode) ومصفى تمرير الترددات المنخفضة (RC Circuit).

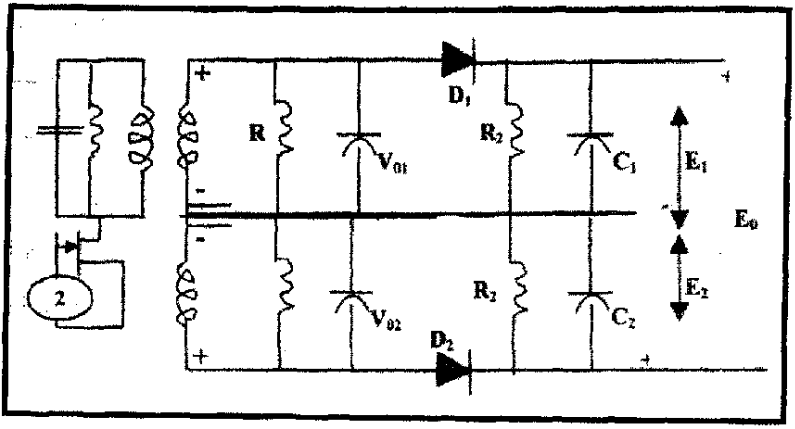
إن المعدل العكسي من نوع كاشف الميل (Slope Detector) بسيط التصميم وقليل التكلفة، ولكن السيئة الرئيسية فيه هي الخاصية عدم الخطية (Non–Linearity)، حيث أن منطقة صغيرة من منحنى الاستجابة ذات خصائص خطية، وذلك يسبب تشويه (Distortion) كبير في الإشارة الخارجة. ويمكن تحسين وتطوير عمل هذه الدائرة بإيجاد دائرة ذات خاصية خطية أكبر، كما في المعدل العكسي من نوع (Travis)، والشكل (1–21) يوح الخصائص الانتقالية الخطية لدائرة كاشف الميل.



شكل(1– 21) خصائص دائرة كاشف الميل المتوازن

المعدل العكسي من نوع Travis

تتكون دائرة المعدل العكسي (Travis) كما هو موضح في الشكل (1–22):



شكل(1– 22) دائرة المعدل العكسي (Travis)

إن مبدأ العمل يعتمد على دائرتي رنين (Resonance Frequency)، تولف الأولى على تردد أعلى من التردد الحامل fc وتولف الثانية على تردد أقل من التردد الحامل fc، ومدخل كل من الدائرتين متساوي ولكن متعاكس، وعندما يكون التردد الداخل مساوياً للتردد الحامل fc فإن الفولتية الناتجة تكون مساوية للصفر، حيث أن كل من الوصلتين D1 و D2 تكونان في حالة التوصيل بالتساوي وبالتالي الفولتية على كل من المقاومتين R1 و R2 تكون متساوية في المقدار ولكن متعاكسة (فرق طور 180 درجة) وبالتالي تلغي كل منهما الأخرى.

وعندما يكون التردد الداخل أعلى من التردد الحامل بمقدار ($+\Delta f_c$) فإن الكسب يزداد وتوصيل D1 يزداد مسبباً زيادة في الفولتية E1 وتوصيل D2 يقل مسبباً نقصاناً في الفولتية E2 وينتج فرق بسيط في الفولتية موجب القطبية. عندما يقل تردد الإشارة المعدلة عن التردد الحامل fc بمقدار ($-\Delta f_c$) فإن الوصلة

D2 فعالة أكثر وبالتالي E2 تكون أكبر من E1 في هذه الحالة وينتج فرق في الفولتية (D1–D2) سالب القطبية. إن الخصائص المركبة الناتجة (منحنى الاستجابة) تكون خطية على نطاق أوسع.

إن المعدل العكسي (Travis) غير مختلف عن غيره من أنواع المعدلات الترددية العكسية الأخرى من حيث التكلفة والتعقيد، كما أن هذه الأنواع تشترك بصفة واحدة وهي حساسيتها للتذبذب في اتساع الموجة الحاملة أو التذبذب في الطور (Phase).

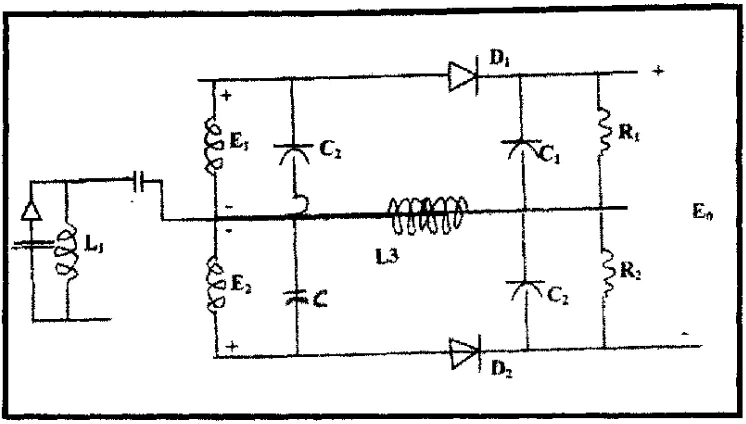
إن التذبذب في اتساع الموجة المعدلة يحدث لأسباب مختلفة خلال انتقال الموجة من المرسل إلى المستقبل عبر الهواء، كالظروف الجوية وتعرض الموجة للتضاريس المختلفة، وتسبب هذا التذبذب في دائرة المعدل العكسي الذي لا يستطيع التمييز الذكي بين التغير بالتردد أو التغير بالاتساع، لذلك يجب أن يسبق المميز دائرة المحدد (Limiters) للتخلص من هذه الذبذبات أولاً.

إن الإشارة الناتجة من المميز تكون مشوهة نتيجة عدة اسباب هي:

1. أن الطيف الترددي للموجة المعدلة تعديل ترددي FM مكون من عدد كبير من الحزم الجانبية وليس من الحزم الفعالة التي يتم حساب عرض النطاق على أساسها، فالاتساع النسبي لتلك الحزم لا يساوي صفراً خارج حدود النطاق المحسوب والمحدد بين القيمتين (fc+BW/2,fc−BW/2).
2. أن ناتج مصفيات التوليف ليست محددة النطاق بشكل دقيق ولذلك ينتج تشويه من مصفى تمرير الحزمة المنخفضة المكون من مقاومة ومكثف (RC).
3. أن الخصائص الانتقالية للمصفى المولد ليست خطية على الدوام وإنما منطقة محددة فقط من حزمة الترددات لها الطبيعة الخطية.

مميز Foster – Sealy:

تمثل الدائرة في الشكل (1– 23) مميز فوستر – سيلي (Foster–Sealy)



الشكل (1– 23) دائرة مميز فوستر – سيلي (Foster–Sealy)

حيث دائرتي LC و(L1+L2)C2 تولف بالضبط على التردد الحامل للإشارة والفولتية E3 مطبقة على الملف L3. وكل من الفولتيتين E1 و E2 متساويتين لكن بينهما فرق طور (180) درجة.

وفي حالة الرنين (Resonance) حيث يكون التردد الداخل مستوياً للتردد الحامل فإن فولتية المخرج Eo تساوي صفر. وعندما يكون التردد الداخل أعلى من التردد الحامل بمقدار $(+\Delta f_c)$ فإن الكسب يزداد وتوصيل D1 يزداد مسبباً في النهاية أن فولتية المخرج E0 تأخذ قيم موجبة . وعندما يقل تردد الإشارة المعدلة عن التردد الحامل fc بمقدار $(-\Delta f_c)$ فإن الوصلة D2 فعالة أكثر مسبباً في النهاية أن فولتية المخرج Eo تأخذ قيم سالبة.

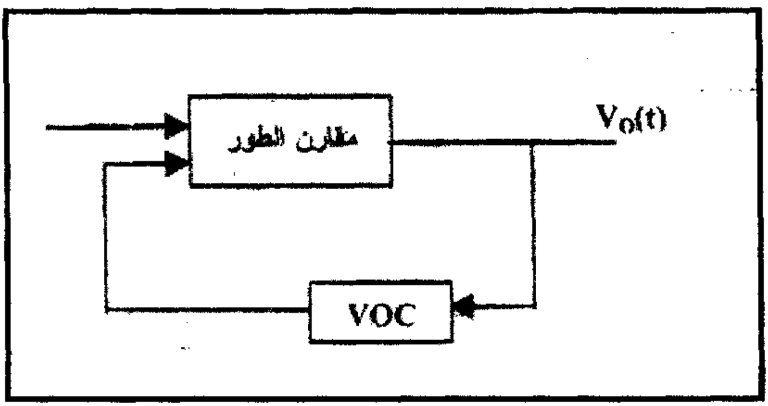
التأثير العام لهذا المميز كان باستبدال فولتية (DC) على المخرج ذات قيمة متغيرة تتناسب مع التغير في التردد المزاح عن التردد الحامل للإشارة، (كلما

ازدادت الإزاحة (Δf_c) كلما ازدادت ($+V_{dc}$)، وكلما قلت الإزاحة (Δf_c) كلما قلت ($+V_{dc}$)، والإزاحة السالبة تؤدي إلى فولتية سالبة).

المعدل العكسي (PLL) باستخدام التغذية الخلفية Feed Back

إن دائرة (PLL) Phase Locked Loop هي دائرة تغذية خلفية سالبة Negative Feed Back تستخدم لعكس تعديل الموجة المعدلة ترددياً FM. وتعمل دائرة التغذية الخلفية على تقليل قيمة الخطأ (Error Term) إلى الصفر، (المقصود بقيمة الخطأ الفرق في الطور بين الإشارة الداخلة والإشارة المرجعية (Reference)).

والمخطط الصندوقي العام لدائرة (PLL) موضحة في الشكل (1–24).



الشكل (1– 24) المخطط الصندوقي العام لدائرة (PLL)

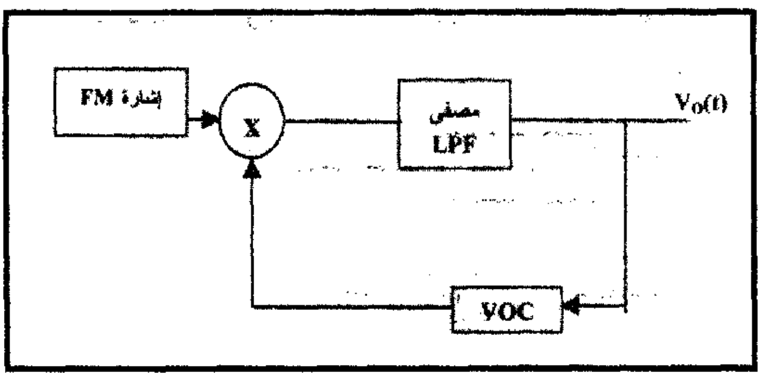
إن الحلقة (Loop) تقارن بين طور الإشارة المعدلة ترددياً (FM) وبين طور الإشارة الخارجة من المهتز (VCO)، وإذا كان الفرق في الطور (Phase Shift) اي قيمة غير صفرية فإن التردد الخارج من (VCO) بأسلوب يدفع الفرق التالي إلى الصفر.

ومخرج مقارن الطور (Phase Comparator) يشكل مدخل (VCO)، ومخرج (VCO) عبارة عن إشارة معدلة ترددياً (FM) يتناسب التردد اللحظي لها مع فرق الطور بين الإشارة الداخلة ومخرج (VCO).

إن التغير المستمر للإشارة على مدخل (VCO) ينتج موجة معدلة تعديل عكسي (Demodulated Signal) من الموجة المعدلة ترددياً (FM).

إن الحلقة تكون في حالة قفل (Lock) عندما تكون كل من الإشارة الداخلة المعدلة (FM) وإشارة مخرج (VCO) متساويتي التردد ولكن بفرق طور (90) درجة.

وباستخدام مقارن لفرق الطور مكون من ضارب متبوع بمصفى تمرير حزمة منخفضة Low Pass Filter (LPF) (ويسمى مصفى الحلقة Loop Filter) تصبح دائرة المعدل العكسي كما هو موضح في المخطط الصندوقي في الشكل (25-1).



شكل (25-1) مصفى حلقي

إن المكونات الأساسية لهذا المعدل العكسي هي:

1. ضارب Multiplier.
2. مصفى حلقي Loop Filter.
3. Voltage Control Oscillater (VCO).

إن الفقد (Losses) في هذه الدائرة يعتمد على مصفى الحلقة.

المحددات Limiters:

المحدد (Limiter) هو الدائرة التي تسبق المميز في المعدل الترددي العكسي والمسؤولة عن التخلص من التذبذبات في اتساع الموجة المعدلة (FM) قبل إدخالها إلى دائرة المميز (Discriminator)، ويمكن أن يتكون المحدد من الوصلة الثنائية أو من ترانزستور يكبر الإشارة الداخلة وثم دائرة توليف للتخلص من مضاعفات التردد.

إن الإشارة الناتجة من المحدد ذات تردد مختلف عن تردد الإشارة الأصلية (كل من التردد الأصلي ومضاعفاتهHarmonics) لأن الترانزستور لايعمل في المنطقة الخطية، ولذلك يليه دائرة توليف عند الجامع (Collector) للتردد المطلوب.

ويمكن الحصول على محدد قوي (Hard Limiter) باستعمال وصلتين (Diodes) على التوازي (Parallel) ولكن متعاكستين وبذلك يمكن التخلص من التذبذبات البسيطة في الاتساع.

تأثير التشويش على انظمة التعديل الترددي Noise Effect

في التعديل الترددي (FM) يتم تحميل موجة حزمة النطاق الأساسي في تردد الموجة المعدلة وليس في اتساعها كما في التعديل السعوي (AM)، وأن تغير

القيمة اللحظية للموجة المحمولة يؤثر فقط في تردد الموجة الحاملة ولا يؤثر في اتساعها، ولذلك فإن التغير في اتساع الموجة المعدلة ينتج عن التشويش فقط، ويمكن التخلص من التذبذبات في الإشارة بواسطة المحددات (Limiters) في المرحلة السابقة لدائرة المميز.

وعندما تكون نسبة قدرة الإشارة إلى التشويش فإن التشويش لايكون له تاثير، وبالرغم من أن عرض النطاق (BW) للموجة المعدلة ترددياً أكبر من عرض النطاق للموجة المعدلة سعوياً إلا أن تاثير التشويش الأبيض (White Noise) في حالة (FM) اقل من تأثيره في حالة (AM).

ولكن بزيادة عرض النطاق يزداد التشويش الأبيض ويمكن أن يتسبب في عطل وانقطاع الاتصال وهبوط في أداء النظام، ويمكن الحد من هذه المشكلة بتقليل عرض النطاق (BW) والذي يتناسب طردياً مع معامل التعديل الترددي وفقاً لعلاقة كارسون:

$$BW=2(f_m+m_f)$$

دوائر التأكيد السابق Pre–emphasis والتأكيد اللاحق De–emphases:

إن للإشارات الصوتية (Audio Signal) خاصية هامة ومؤثرة، وهي أن قدرة (Power) الترددات المنخفضة عالية بشكل كبير مقارنة مع قدرة الترددات العالية، فتردد الإشارات الصوتية (الكلامية) محدود نسبة لترددات الإشارة الموسيقية ومع ذلك فإن قدرة الترددات فوق (3KHz) تكون قليلة، كذلك الحال مع ترددات الإشارات الموسيقية حيث تكون قدرة الإشارة الموسيقية ذات التردد المنخفض عالية بينما قدرة الإشارة الموسيقية ذات التردد العالي تكون قليلة على الرغم من أن مدى الإشارة الموسيقية (Music) اكبر من مدى الترددات للإشارة الصوتية (Audio).

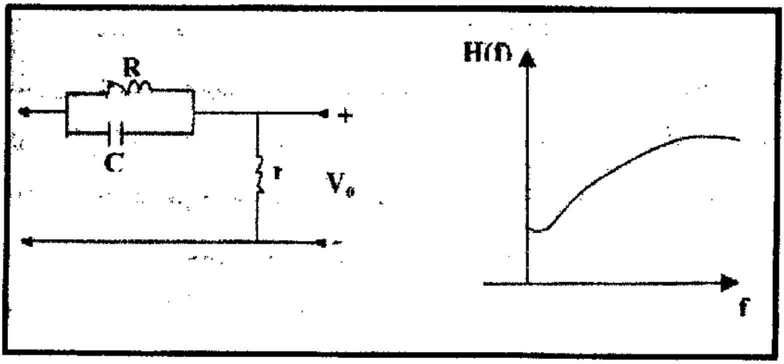
وبالتالي عند تحميل الإشارة الصوتية (Audio Signal) على التردد الميكروي العالي (تعديل الإشارة Modulation) فإن مكونات الطيف الترددي الأقرب إلى التردد الحامل يكون لها قدرة عالية، وتنخفض قدرة مكونات الطيف (Spectrum) للإشارة المعدلة كلما ابتعدت عن التردد الميكروي (وذلك واضح من قيم اقترانات بيسيل التي تمثل الاتساع النسبي لمكونات الطيف الترددي للموجة المعدلة (FM)، حيث تنخفض قيمة الاقتران بانخفاض درجته).

من جهة أخرى، فإن التشويش الأبيض (White Noise) يوجد في جميع الترددات وبنفس المستوى سواء في الترددات العالية أو الترددات المنخفضة. وبالتالي فإن قيمة نسبة قدرة الإشارة إلى قدرة الضجيج (S/N) في مكونات الطيف الترددي القريبة من التردد الميكروي الحامل للإشارة الصوتية أكبر من قيمتها في الترددات البعيدة عن ذلك التردد الميكروي.

بعد التعرف على هذه الخاصية للموجة الصوتية، السؤال الذي يطرح نفسه: كيف يمكن تحسين أداء (Performance) أنظمة (FM)؟ أو بكلمات أخرى كيف يمكن الاستفادة من خاصية إشارة الضجيج وخاصية الإشارة المسموعة لزيادة نسبة قدرة الإشارة إلى قدرة الضجيج Signal To Noise Ratio (SNR)؟

الجواب هو دوائر التأكيد السابق (Pre–emphasis) والتأكيد اللاحق (De–emphasis)، وبتوضيح ماهية هاتين الدائرتين يتضح كيف يتم تحسين الأداء.

دائرة التأكيد السابق عبارة عن مصفى ذو طبيعة عمل معينة، حيث يقوم بتكبير الإشارة ذات الترددات العالية فهو يعمل كمصفى تمرير الحزم الترددية العالية (HPF) وفي نفس الوقت يسمح بمرور الترددات المنخفضة دون أن تكبر. والشكل (1– 26) يوضح مكونات دائرة التأكيد السابق (Pre–emphasis) والخصائص الانتقالية (Transfer Function) لها:

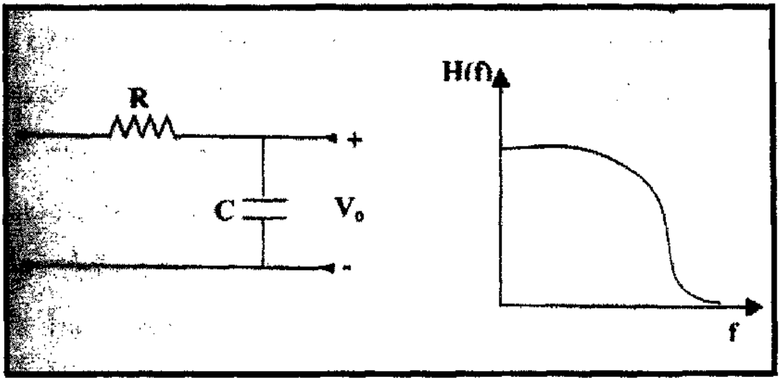


شكل(1– 26) مكونات دائرة التأكيد السابق (Pre – emphasis) والخصائص الانتقالية لها

وبإدخال الموجة المعدلة (FM) في المرسلة (Transmitter) على دائرة التأكيد اللاحق (Pre – emphasis) قبل إرسالها فإن ذلك يزيد من قدرة مكونات الطيف الترددي البعيدة عن الحامل (دون التأثير السلبي على مكونات الطيف القريبة من الحامل)، وبزيادة قدرة الإشارة (S) فإن النسبة (SNR) تزيد، أي أن أداء النظام يتحسن، ويتناسب الكسب لهذه الدائرة طردياً مع مربع التردد.

ومن الجهة الأخرى، أي المستقبلة (Reciever)، لابد من معادلة (Equalization) تأثير مصفى التأكيد السابق التي اضيفت في المرسلة. وتتم هذه المعادلة بإضافة دائرة التأكيد اللاحق (De – emphasis) التي لها خواص انتقالية مكافئة لمقلوب الخواص الانتقالية لدائرة التأكيد السابق، أي أن:

$$Hd(f) = 1/Hp(f)$$

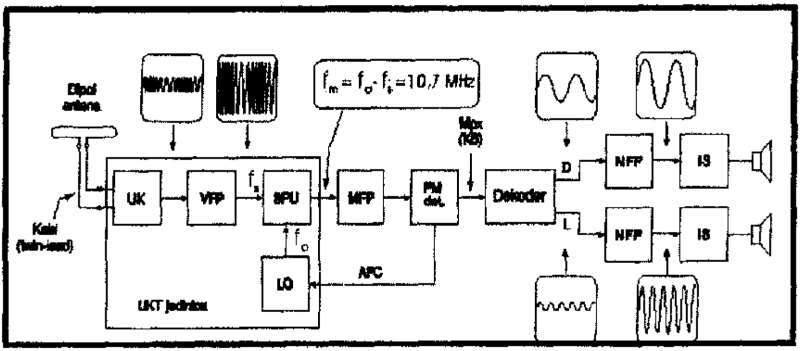


شكل(1–27) دائرة التأكيد اللاحق والخواص الانتقالية لها

ومن ذلك يمكن الاستنتاج أن دائرة التأكيد اللاحق تعمل كمصفى تمرير الحزمة الترددية المنخفضة (LPF) لتعادل التغيير الذي سببه مصفى التأكيد السابق ولخفض التشويش (Noise)، ويتناسب الكسب لهذه الدائرة عكسياً مع مربع التردد.ومثال بسيط لدائرة التأكيد اللاحق والخواص الانتقالية لها موضح في الشكل (1–27).

نظام البث الراديوي من جهتين stereophonic:

يعمل نظام البث الراديوي من جهتين في نطاق الموجات القصيرة من 88 MHz إلى 108 MHz، تعمل المرسلات بحيث تتمكّن المستقبلات من استلام الاشارة من جهتين (اليمين R و اليسار L)، يحقّق هذا النظام تفاصيل اكثر دقة للاشارة.



شكل(1– 28) مستقبل FM stereo

الشكل (1– 28) يبيّن المخطط الصندوقي للمستقبل من جهتين (stereophonic)، و الذي نلاحظ الشبه بينه و بين المستقبل أحادي الصوت monophonic إلى نقطة فاك الشفرة decoder، وفي تلك المرحلة نكون قد حصلنا على الإشارة الصوتية (ذات التردد المنخفض)، و لكنّها لا تكون إشارة صوتية إعتيادية بل إشارة ممزوجة multiplexed، بالاضافة الى الاشارة الاعتيادية كما في المستقبل الأحادي.

عند تسجيل أداء أو لحن موسيقي معيّن فإنّ الجزء على اليسار يسجّل بميكريفون معيّن ، و تعرف هذه الإشارة بانها إشارة اليسار (L)، بينما يسجّل اجزء على اليمين بميكريفون آخر، و تعرف هذه الإشارة بإشارة اليمين (R)، وتشفّر كلا الاشارتين بمشفّر coder، و تسمّى الإشارة الخارجة من المشفّر بالاشارة الممزوجة، ويتم اجراء التعديل الترددي على الاشارة الممزوجة الناتجة.

أما في المستقبل، يتم أولا الكشف عن الاشارة الممزوجة، و التي تدخل لفاك الشفرة decoder، ان هذه العملية في السمتقبل يجب أن تكمّل المرحلة المقابلة لها في المرسل، لذلك توجد اشارتين خارجتين هما اشارة اليمين R و اشارة اليسار L. ويتم تكبير كلا الاشارتين بشكل متماثل بمكبرات صوتية، و التي تغذي زوج من السماعات.

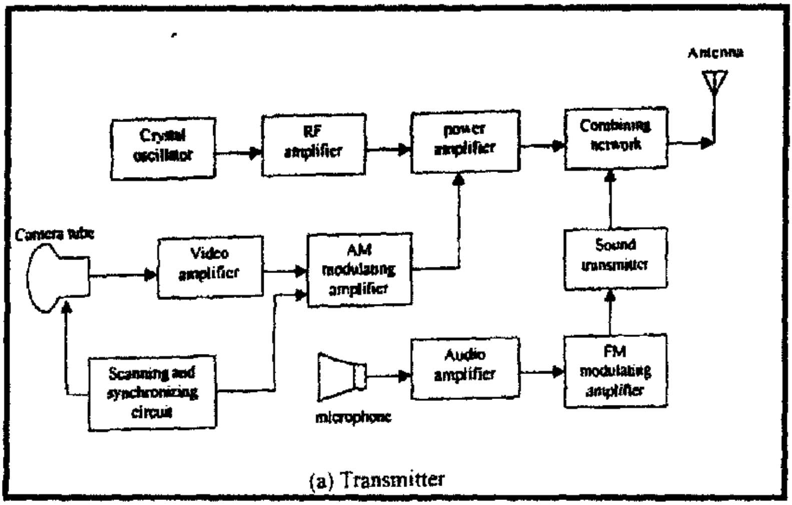
ان المستمع لهذه الاشارة يستطيع أن يستمع الى النصف اليساري من الأداء الموسيقي من السماعة اليسرى و الى النصف الأيمن منه من السماعة اليمنى، ان أداء العازفين الموجودين في منتصف الفرقة يظهر بالتساوي على السماعتين مما يترك الانطباع لدى المستمع بوجود سماعة ثالثة تتوسّط السماعتين اليمنى واليسرى، بناءا على ذلك، يتكون لدى المستمع تصور عن مواقع المؤدين في الفراغ، الامر الذي يؤدي التحسين العام للخدمة.

2.4 انظمة التلفزيون TV systems:

نظام التليفزيون هو نظام المشاهدة عن بعد. و ليكون نظام ناجح، يتطلّب الأمر ان ينتج النظام كل من:

1. شكل كل كائن object.
2. النور المرتبط بكل ككائن.
3. المحتوى الديناميكي او الحركة motion.
4. الصوت.
5. المحتوى أحادي اللون أو الملوّن.
6. محتوى المنظور perspective و مجسّم الصوت stereo.

والشكل (1– 29 a) يبيّن المخطط الصندوقي العام للمرسل في النظام تليفزيون ابتدائي (أبيض و أسود)، و الذي يوضّح متطلبات الإرسال و الإستقبال الأساسية و المتوافقة في نظام البث التلفزيوني. و الشكل (1– 29 b) يبيّن المخطط الصندوقي العام للمستقبل لنظام البث التليفزيوني.

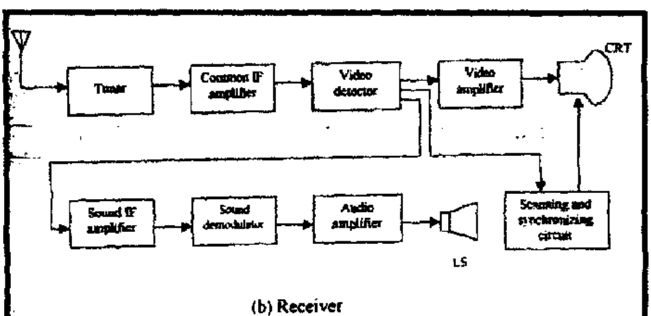


(a) Transmitter

شكل(1– 29a) المخطط الصندوقي العام للمرسل في نظام البث التلفزيوني

أنظمة البث التليفزيوني و المعايير العالمية لها:

يوجد خمس أنظمة تلفزيونية مختلفة مستخدمة في أرجاء العالم، النظامين الأساسيين هما النظام الأمريكي (FCC) والنظام الأوروبي (CCIR)، والجدول (1–2) يوضّح المعايير الأساسية في كلا النظامين.



(b) Receiver

شكل(1– b29) المخطط الصندوقي العام للمستقبل في نظام البث التلفزيوني

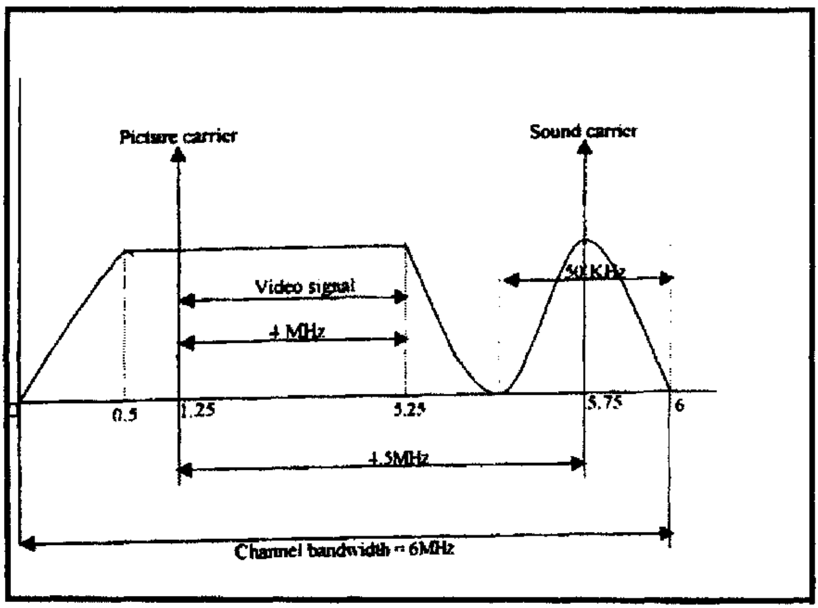
جدول(1–2) معايير انظمة البث التليفزيوني الأساسية

المعيار	نظام FCC	نظام CCIR
عدد الخطوط لكل إطار Number of line per frame	525	625
عدد الإطارات لكل ثانية Number of frame per second	30	25
تردّد الحقل الكهربائي بالـ Hz Field frequency in Hz	60	50
التردّد الحامل الداخلي بالـ MHz Inter carrier frequency in MHz	4.5	5.5
تردّد الخط بالـ KHz Line frequency in KHz	15.750	15.625
نظام الصوت Sound system	FM	FM
عرض القناة بالـ MHz Channel width in MHz	6	7
عرض نطاق الصورة بالـ MHz Video bandwidth in MHz	4.2	5
التردّد الثانوي الحامل للون بالـ MHz Color subcarrier in MHz	3.58	4.43
اقصى إزاحة تردّدية للصوت بالـ KHz Max. sound deviation in KHz	25	50

والطيف الترددي spectrum للقناة التليفزيونية (الإشارة غير الملوّنة) المرسلة موضّح في الشكل (1– 30)، وكما هو واضح في ذلك الشكل، فإنّ أقصى معدّل تعديل للصورة هو 4 MHz.حيث تعدّل قيمة الإشارة على حامل، وتستلزم عرض نطاق 6 MHz فقط للقناة التلفزيونية الواحدة. وتتضمن القناة أيضا الإشارة الصوتية المعدّلة تعديل ترددي FM. كما نلاحظ أنّ المدى بين التردّد الحامل للصوت والتردّد الحامل للصورة هو 4.5MHz. مثلاً، للقناة الاولى تكون قيمة التردّد الحامل للصورة 54 MHz (والذي يقابل القيمة 1.25MHz في الطيف الترددي)، وبالتالي قيمة التردّد الحامل للصوت يساوي:

$$f_{c(sound)} = f_{c(picture)} + 4.5$$

$$= 54 + 4.5 = 58.5 \text{ MHz}$$



شكل (1– 30) الطيف التردّدي spectrum للقناة التليفزيونية

(الإشارة غير الملوّنة) المرسلة

جدول (1– 3) توزيع القنوات التلفزيونية في النظام الأمريكي FCC

النطاقات bands	القناة channel	الترددّ الحامل للصورة Picture carrier MHz	الترددّ الحامل للصوت Sound carrier MHz
النطاق الأول نطاق VHF المنخفض (lower VHF)	1	54	58.5
	2	60	64.5
	3	66	70.5
	4=4 MHz	FM broad cast	
	5	76	80.5
	6	82	86.5
النطاق الثاني نطاق VHF العالي (upper VHF)	7	174	178.5
	8	180	184.5
	9	186	190.5
	10	192	196.5
	11	198	202.5
	12	204	208.5
	13	210	214.5
النطاق الثالث نطاق UHF	14	470	474.5
	24	530	554.5
	34	590	594.5
	44	650	654.5
	54	710	714.5
	64	770	774.5
	69	800	804.5

مبدأ الإرسال Transmitter principle:

نظام الإرسال التلفزيوني هو في الواقع عبارة عن نظامي إرسال منفصلين، الأول خاص بنظام إرسال الصوت، و هو نظام FM مشابه لحد كبير نظام البث الراديوي FM الذي ذكرناه سابقا، ولهذا النظام نفس أداء النظام المذكور سابقا، حيث ان الإشارة الصوتية المرسلة لها نفس المدى الترددي (من Hz 30 إلى 15 KHz)، ولكن الإختلاف الأساسي بين البث الإذاعي FM والبث الصوتي التلفزيوني هو ان نظام التليفزيون يستخدم إنحراف ترددي مقداره ±25KHz، بينما يستخدم نظام البث الراديوي FM إنحراف ترددي مقداره ±75KHz، ولذلك فإنّ كفاءة النظام الصوتي التليفزيوني أقل من كفاءة النظام الراديوي FM في إلغاء تأثيرات التشويش غير المباشرة.

أما النظام الثاني فهو النظام المرئي. فالإشارة المرئية (أو الصورة) تعدّل تعديل سعوي على حامل، وبالتالي فإنّ الإشارة التلفزيونية المرسلة هي إشارة مركبّة من إشارة صوتية معدّلة تعديل ترددي FM وإشارة مرئية معدّلة تعديل سعوي VSB–AM، والسبب في ذلك هو للحد من تأثير التداخل بينهما في الجهة المستقبلة، حيث يكون مستقبل FM غير حسّاس نسبيا للتعديل الترددي، كما أن المستقبل AM له المقدرة على رفض التعديل الترددي، فيمكن تمثيل المخطط الصندوقي لمرسل TV على أنّه مكوّن من نظامين (صوتي و مرئي) و دائرة جمع للإشارتين (diplexer) كما هو موضّح في الشكل (1–32).

إنّ مجموع نطاق الحماية بين قناتين هو 1.5MHz (1.25MHz في البداية , و0.25MHz في نهاية الطيف)، والتعديل السعوي ذو مستوى عالي بمعامل μ=0.875. و يقوم مكبّر القدرة على إزالة الجزء الأدنى من الحزمة الجانبية السفلى، وتردّد القطع (التردّد الذي تساوي عنده قدرة الإشارة المرئية نصف القدرة العظمى) في الحزمة الجانبية العليا هو 4.2 MHz قياسا من التردّد

الحامل للصورة، و لذلك فإنّ عرض نطاق الصورة يساوي 4.2 MHz (كما ذكر في الجدول 1–2).

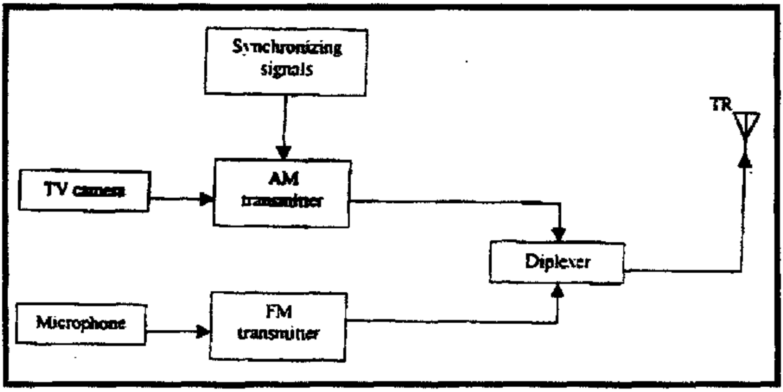
تعمل الكاميرا (TV camera) على تحويل الإشارة المرئية (المشهد) إلى إشارة كهربائية (فهي عبارة عن محوّل فيزيائي بين الإشارة الضوئية والإشارة الكهربائية)، على العكس من الكاميرا، نجد في المستقبل الانبوب CRT الذي يحوّل الإشارة الكهربائية مرّة أخرى إلى الإشارة الضوئية.

أما في النظام الصوتي، تعكس السمّاعات في المستقبل عمل الميكريفون في المرسل، حيث يحوّل الميكريفون الإشارة الصوتية إلى إشارة كهربائية، بينما تحوّل السمّاعة الإشارة الكهربائية إلى إشارة صوتية.

والمحوّليين الفيزيائيين الذين نراهما أيضا في كل من المرسل والمستقبل هما الهوائيين، حيث يعمل في المرسل على تحويل الإشارة الكهربائية إلى إشارة كهرومغناطيسية تبثّ إلى الفراغ الخارجي، بينما يعمل في المستقبل على تحويل الإشارة الكهرومغناطيسية إلى إشارة كهربائية مرة اخرى، ويمتاز الهوائي بامكانية إرسال الموجتين المرئية و الصوتية بدون تداخل إحداهما مع الأخرى، وقدرة الموجة الصوتية المرسلة يتراوح بين 50% إلى 70% من قدرة الموجة المرئية.

يعمل مركّب الإشارتين المرئية و الصوتية (diplexer) على تغذية الهوائي في المستقبل بهاتين الإشارتين وفي الوقت نفسه يحول دون الرجوع العكسي لإحداهما إلى مرسل الأخرى، فبدون مركّب الإشارة الثنائية فإنّ اي مكبّر(الممانعة الخارجة له صغيرة) في أحد المرسلين سيبدّد الكثير من القدرة الخارجة من المرسل الثاني.

قبل تركيب الإشارة الصوتية مع الإشارة المرئية المعدّلة تعديل سعوي تمرّر الأخيرة على مصفي VSB . و وظيفة دائرة التزامن الأفقي والعمودي (Horizontal & vertical synchronizing) عمل مسح للمشهد ككل، فهي التي تحفّز الشعاع الالكتروني لعمل مسح افقي و رأسي للشاشة.



شكل(1–32) النظامين المنفصلين في مرسل TV

إنّ الإشارة المرئية المرسلة تحتوي المعلومات التالية (بالاضافة إلى اللون الذي يعدّ معلومة منفصلة):

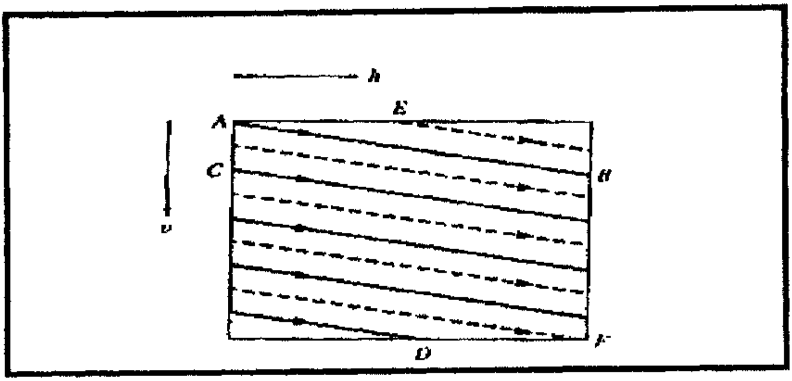
1. معلومة السطوع أو الانارة luminance signal.
2. نبضات الاطفاء Blanking pulse.
3. نبضات التزامن synchronization pulse.

ويتم الإرسال باحدى طريقتين:

1. الإرسال الموجب +ve transmission: في هذه الطريقة يكون للون الأسود الشدة الأعلى و اللون الأبيض ذو الشدة الأدنى.
2. الإرسال السالب – ve transmission: في هذه الطريقة يكون للون الأبيض الشدة الأعلى و اللون الأسود ذو الشدة الأدنى.

إنّ جهاز المسح (scanning) هو الجهاز الذي يحوّل التغيّر في الشدّة إلى تغيّر في الفولتية أو التيار فيبدأ من نقطة ما ، مثل النقطة A، في الشكل (1–33) ويتحرك بسرعة ثابتة (و لكن غير متساوية) بشكل افقي و عمودي إلى النقطة B.

وبعد الوصول للنقطة B تقفز نقطة المسح عائدة بسرعة إلى النقطة C لتتحرك بنفس الأسلوب لمسح المشهد بالكامل وصولاً في النهاية للنقطة D.



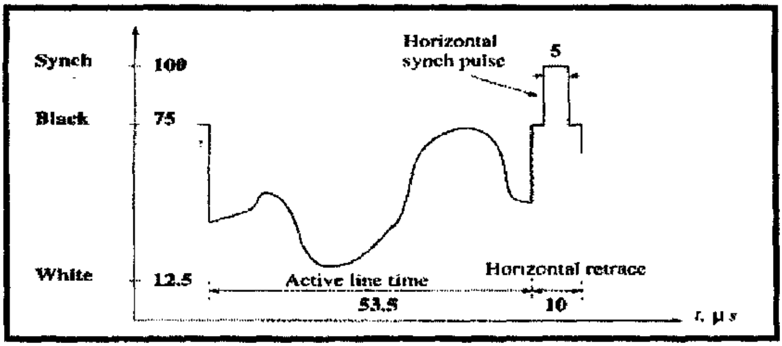
شكل(1– 33) رستر المسح في اتجاهين: أفقي و عمودي

لا بد من تلاؤم حركة الصورة، لذلك ترجع البقعة إلى النقطة E عموديا لتعاود المسح وصولا إلى النقطة F. ومن ثم تعاد العملية كاملة بدءاً من النقطة A. وتسمى مجموعة الخطوط (المتصلة و المتقطعة) بالحقلين الأول والثاني (field)، و بتجميعها معاً تشكّل الصورة كاملة أو الإطار frame.

إنّ معدّل الاطار يكون سريع بشكل كافي (من25 إلى 30 لكل ثانية) لتحقيق خداع بصري بالاستمرارية بالحركة، بينما معدّل الحقل (ضعف معدّل الاطار) يجعل الومض غير محسوس للعين البشرية.، عموما، تتم عملية المسح لاعطاء أفضل تكرار للصورة بأقل ومض مرئي.

بعد المسح يتم إجراء إضافتين للإشارة المرئية: نبضات الاطفاء (الفراغ) التي تضاف خلال الفترات الخالية من أي إشارة و التي تعمل على ظهور الشاشة السوداء في أنبوب الصورة في المستقبل، والتطوير الثاني هو نبضات التزامن synchronizing pulse والتي تضاف على قمة نبضات الاطفاء، والغرض

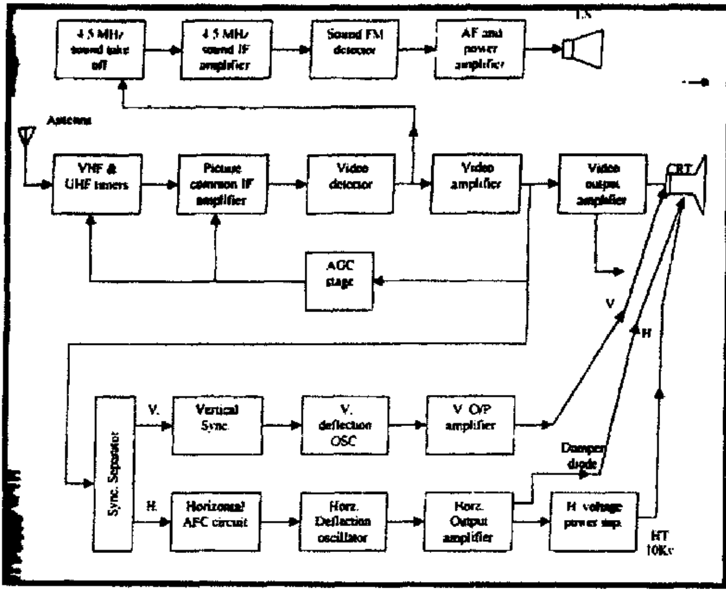
منها جعل دوائر المسح الأفقي و الراسي في المستقبل في تزامن. و يبيّن الشكل (1– 34) الإشارة المرئية لخط واحد كامل بنظام إرسال موجب في النظام NTSC، حيث اللون الأسود له الشدّة الأعلى واللون الأبيض له الشدّة الأقل، يحتاج مسح كلّ خط µs 63.5، ويحتاج إعادة الأثر retrace الأفقي µs 10 (وتضاف نبضة التزامن الأفقي في فترة µs 10)، اي أنّ الوقت الكلي للخط µs 53.5.



شكل(1– 34) الإشارة المرئية لخط واحد كامل

المستقبلات التليفزيونية TV Receivers:

يستخدم مستقبل TV المبدأ السوبر هيتروديني، بالاضافة إلى مجموعة من الدوائر الالكترونية النبضية التي تتحقّق من عرض الإشارة بشكل صحيح، ويشبه مستقبل التليفزيون إلى حد كبير مستقبل الرادار، غير أنّ ماسح الرادار أكثر بساطة حيث أنّه لا يتعامل مع الصوت أو اللون، والشكل (1–35) يوضّح المخطط الصندوقي لمستقبل TV، وسنتناول في ما يلي هذه مراحل و دوائر المستقبل بالتفصيل.



شكل (1-35) المخطط الصندوقي لمستقبل TV أحادي اللون monochromic

تتكوّن دائرة الإستقبال من خمس قطاعات رئيسية:

1. قطاع المرحلة الراديوية RF section.
2. قطاع المرحلة المتوسطة IF section.
3. قطاع الصورة video section.
4. قطاع التزامن الراسي و الأفقي Synchronization deflection section.
5. قطاع الصوت sound section.

ومن الجدير بالذكر إنعكاس ترتيب الترددات الحاملة للصورة و الصوت في المرحلة المتوسطة، حيث أنّ:

$f_{IF(picture)}$ =45.75 MHz

$f_{IF(sound)}$ =41.25 MHz

اي أن قيمة التردّد المتوسط الحامل للصورة تزيد عن قيمة التردّد المتوسط الحامل للصوت بمقدار 4.5 MHz.

ونلاحظ من المخطط الصندوقي السابق إرتباط عمل وحدة التحكم الآلي بالتكبير AGC بالمرحلة المتوسطة لأن معظم مراحل التكبير تتم في المرحلة المتوسطة، والغرض من AGC المحافظة على إشارة ثابتة دائما.

1. قطاع RF وقطاع IF:

المستقبلات التليفزيونية تعمل بالمبدأ السوبر هيتروديني، و تحتوي دائرتي توليف، توليف VHF الذي يجب ان يغطّي المدى التردّدي من 54 MHz إلى 216 MHz. والهوائي المستخدم لإستقبال هذه التردّدات هو (yagi–uda) الذي يتكوّن في ابسط حالاته من عاكس (reflector) وهوائي مثني ثنائي الاستقطاب (folded dipole) للخمس قنوات السفلى (النطاق الأول)، و هوائي قصير ثنائي الاستقطاب (short dipole) للقنوات السبعة العليا (النطاق الثاني).

أما دائرة التوليف UHF فيجب أن تغطي المدى التردّدي من 470 MHz إلى 890 MHz، و في هذه الحالة فإنّ الهوائي المستخدم سيغطي النطاقين UHF وهو هوائي حلقي loop antenna. والشكل (1– 36) يبيّن المخطط الصندوقي لدائرة التوليف VHF و UHF.

وفي هذه الحالة يتم إستخدام 3 هوائيات لإلتقاط الإشارة، أو يمكن إستخدام هوائي واحد من نوع zic–zac او هوائي log–periodic.

على فرض إختيار القناة التلفزيونية f_p=175.25 MHz بواسطة دائرة التوليف VHF، فلا بد من مزجها بتردّد المهتزالمحلي بحيث:

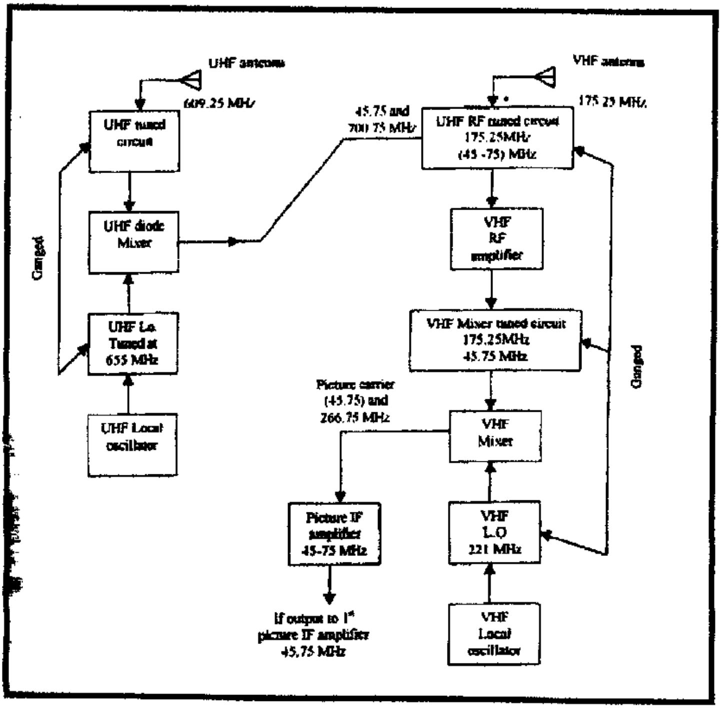
$$f_i = f_{LO} - f_p$$

ويأخذ التردّد المتوسط للصورة f_i=45.75 MHz فإنّ تردّد المهتز المحلي VHF يجب ان يساوي:

$$f_i = f_{LO} - f_p$$
$$45.75 = f_{LO} - 175.25$$
$$f_{LO} = 175.25 + 45.75 = 221 \text{ MHz}$$

امّا في مرحلة UHF فمثال على ذلك التردّد 609.25 MHz ، ففي هذه الحالة فإنّ تردّد المهتز المحلي UHF يجب أن يساوي:

$$f_i = f_{LO} - f_p$$
$$45.75 = f_{LO} - 609.25$$
$$f_{LO} = 609.25 + 45.75 = 655 \text{ MHz}$$



شكل (1– 36) المخطط الصندوقي لدائرة التوليف VHF و UHF

والتردّد المتوسط للإشارة الصوتية سيقل عن التردّد المتوسط الحامل للصورة بقيمة 4.5 MHz.

إنّ الوظيفة الرئيسية لدوائر التوليف هي إختيار المحطة أو القناة المطلوبة وحجب باقي القنوات الأخرى وتردّد الخيال، بالاضافة لهذه الوظيفة فإنّها تقوم بالوظائف التالية:

1. تكبير الإشارة المركّبة الملتقطة بالهوائي.
2. توليد التردّد المتوسط IF لكل من الصوت و الصورة، و تتراوح التردّدات المتوسطة للبث التلفزيوني بين 41 MHz إلى 46 MHz.
3. عكس ترتيب التردّد الحامل للصوت مع التردّد الحامل للصورة في المرحلة المتوسطة.
4. الربط Coupling بين الهوائي و المستقبل.
5. منع اشعاع التردّدات العالية الناتجة من المهتز المحلي من خلال الهوائي.

وتتكون المرحلة المتوسطة من ثلاث مكبّرات IF (cascade amplifier). فهي المرحلة المسؤولة عن التكبير، و لذلك ترتبط بوحدة AGC. و تغذّي الإشارة المتوسطة الناتجة دائرة الكشف video detection. ويمكن القول أنّ عبارة عن دوائر توليف ذات نطاق محدّد band–limited لمنع التداخل بين القنوات المتجاورة. و وظائف مرحلة IF هي:

1. التكبير.
2. منع التداخل بين القنوات المتجاورة.
3. تثبيت مستوى الصوت و الصورة، خاصة نتيجة ارتباطه بوحدة AGC.

يتراوح جهد الإشارة المستقبلة بين $10\mu V_{rms}$ إلى $500\ \mu V_{rms}$، و هي نسبة متفاوتة، لذلك يكون لوحدة AGC اهمية كبيرة في هذه المرحلة للحصول على إشارة مستقرة (مستوى الإشارة المرئية الطبيعي الخارج من الكاشف حوالي 3V).

مثال:

أ. جد تردّد المهتز المحلي في دائرة التوليف VHF للقناة f=216 MHz.

ب. جد تردّد المهتز المحلي في دائرة التوليف UHF للقناة f=470 MHz.

الحل:

أ. على اعتبار أن التردّد المتوسط 45.75 MHz فإنّ تردّد المهتز المحلي VHF يجب ان يساوي:

$$f_i = f_{LO} - f_p$$

$$45.75 = f_{LO} - 216$$

$$f_{LO} = 216 + 45.75 = 261.75 \text{ MHz}$$

ب. بنفس الفرضية السابقة نجد أنّ تردّد المهتز المحلي UHF يجب أن يساوي:

$$f_i = f_{LO} - f_p$$

$$45.75 = f_{LO} - 470$$

$$f_{LO} = 470 + 45.75 = 515.75 \text{ MHz}$$

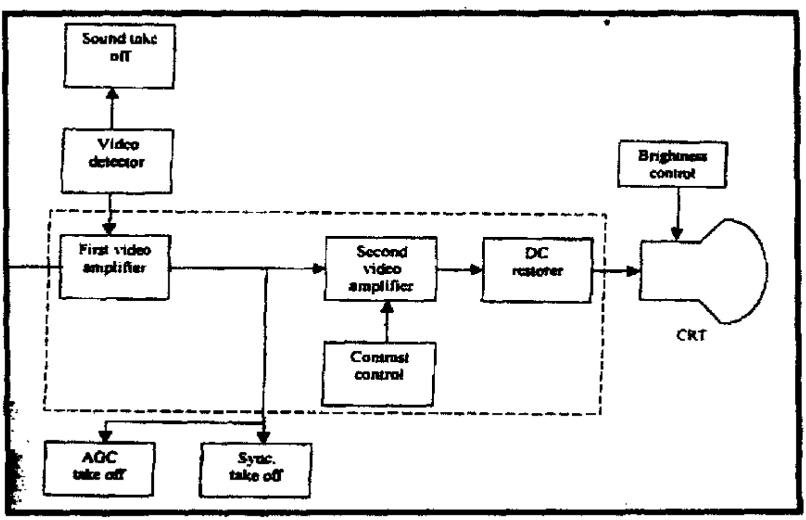
قطاعي الصوت والصورة video and sound sections

مهام قطاع الصورة في المستقبل TV موضّحة في الشكل(1-37).حيث تدخل الإشارة ذات التردّد المتوسط إلى المعدّل العكسي (video detector) للحصول على المعلومة الخاصة بالصورة، وهي تتكوّن أساسا من الديود الذي يعمل كمقوّم (rectifier) وبالتالي يتم التخلص من الجزء السالب من الإشارة. ثم تغذّي الإشارة الناتجة مكبّر الصورة الأول الذي يحتوي على مصفى تمرير حزمة تردّدية منخفضة LPF الذي يفصل المركّبة الصوتية ومركبّة التغذية الراجعة DC. و تكبّر الموجة

المرئية بشكل ملائم لتطبيقها إلى دائرة العرض (picture tube cathode). وبتطبيق الإشارة إلى الكاثود ستؤثر هذه الإشارة على شدّة حزمة الالكترونات بحيث أنّ النقاط السوداء و البيضاء للمشهد تظهر على واجهة CRT. وبالطبع ستتدرّج شدة الالكترون بين الأبيض والأسود لإعطاء الظلال الرمادية.

وحدة التحكم في التباين contrast control تقابل وحدة التحكم في الصوت للمستقبل الراديوي، فهي تمثّل ببساطة إتساع الإشارة الداخلة للعارض CRT، فالتباين الأكبر بين القيمة العظمى والقيمة الصغرى للإتساع يعني التباين الأعلى في الصورة بين اللونين الأسود والأبيض، ويتم التحكم بشدّة الضوء من قبل المشاهد نفسه بواسطة وحدة التحكم contrast control، والتي تغيّر مستوى قيمة DC–bias المطبّقة على CRT، ويتم التحكم بحيث لا تظهر الصورة بيضاء باهتة أو سوداء داكنة على الشاشة.

نقطة فصل نبضة التزامن (synchronization Separation) هي النقطة التي يتم فيها إستخلاص نبضات التزامن الأفقية والرأسية من الإشارة المرئية والتي تغذّي CRT.



شكل(1–37) المخطط الصندوقي لقطاع الصورة في مستقبل TV

إنّ قطاع الصورة يزوّد المستقبل أيضا بإشارة التحكم الآلي بالتكبير GC، حيث تستخدم الإشارة dc الناتجة بعد كاشف الإشارة كتغذية راجعة (feed back) لدوائر التكبير السابقة مثل مكبّر RF والمازج و مكبّر IF. وهي تغذية مهمّة حتى تتمكن الإشارات القوية و الضعيفة في النهاية من تزويد كاثود CRT بإشارة من نفس المستوى وبالتالي اعطاء صورة بدرجة ثابتة من السطوع، ولكن إذا كانت الإشارة المستقبلة ضعيفة جدا بحيث كان التشويش ذو مستوى عالي بالنسبة لها، فإنّ الإشارة الناتجة على الشاشة ستكون إشارة ثلجية (snowy picture).

نلاحظ فصل الإشارة الصوتية عن إشارة الصورة بعد الكاشف، وتمر الإشارة الصوتية المنفصلة بمراحل الإستقبال اللازمة، حيث تمرّر إلى مكبّر مرحلة متوسطة مولّفة بتردّد 4.5 MHz ودائرة التعديل العكسي FM وعرض الإشارة بواسطة السماعات، إنّ مبدأ إرسال الصورة و الصوت بهذا الأسلوب هو مزج بالتقسيم الترددي FDM. والتردّد الحامل للصورة يمثّل كتردّد مهتز محلي للإشارة الصوتية في مرحلة كشف الغطاء، و يسمى هذا الإجراء بنظام حامل الصوت الداخلي.

تحتوي الإشارة الخارجة من الكاشف على أربعة معلومات:

1. إشارة التزامن الأفقي و الرأسي.
2. إشارة الصوت، حيث يتوافر في هذه المرحلة معرفة عن التردد الحامل للصوت (يفارق 4.5 MHz عن تردد حامل الصوة).
3. إشارة الإضاءة luminance. و هي الإشارة أحادية اللون.
4. إشارة اللون (و هي موجودة فقط في التليفزيون الملوّن).

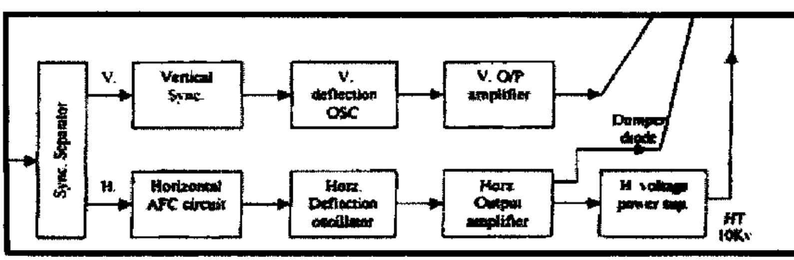
قطاع التزامن الأفقي والعمودي

Vertical and Horizontal Synchronization

دائرة التزامن هي الدائرة المسؤولة عن المسح الرأسي و الأفقي على الشاشة، وتسمى أيضا بدائرة الإنحراف الأفقي (horizontal deflection). والشكل (1- 38) يبيّن قطاع التزامن، فتقوم أولا دائرة الفصل (Synchronization Separation) بإستخلاص نبضات التزامن عن الإشارة المرسلة، و يكون تردّد التزامن الأفقي أعلى من تردّد التزامن الراسي (حيث تردّد الأول 15750 Hz و تردّد الثاني 60 Hz)، ولذلك نستخدم HPF للحصول على نبضات التزامن الأفقي نمرر الإشارة على HP بينما نستخدم LPF للحصول على نبضات التزامن الرأسي، وبعد تكبير إشارة نبضات التزامن تدخل كل منها إلى ملف الانحراف التابع لها، أي تدخل الإشارة الرأسية إلى ملف الانحراف الرأسي وتدخل الإشارة الأفقية إلى ملف الانحراف الأفقي.

ويعمل المحوّل (o/p transformer) برفع الجهد للحصول على جهد عالي (extra high)، والاسم التجاري له هو (line)، و يغذي هذا الجهد العالي (8–11 Kv) الأنود في العارض CRT.

وبالتالي فإنّ وظائف دوائر الانحراف بشكل عام هي تحويل نبضات التزامن إلى إشارة المسح ذات شكل أسنان المنشار (saw tooth)، و توليد الفولتية المباشرة DC العالية اللازمة لتغذية الأنود في العارضCRT.



شكل(1– 38) قطاع نبضات التزامن الأفقي والراسي في مستقبل TV

للاطلاع: من الأعطال التي تظهر في TV الناشئة من دوائر التزامن هي:

1. إنزلاق الصورة بشكل أفقي و راسي و عدم التحكم في إيقافها، في هذه الحالة يكون العطل في دائرة فصل التزامن، فإذا كان الانزلاق رأسي فقط فإنّ العطل في LPF، و إذا كان الانزلاق أفقي فقط فإنّ العطل في HPF.
2. إنزلاق الصورة مع وجود خطوط سمراء مائلة، في هذه الحالة فإنّ العطل في دائرة AGC، ويتم فحص المقاومة المتغير للدائرة والتحقق من نقاط إتصالها.
3. الشاشة سوداء على الرغم من وجود الصوت، في هذه الحالة يكون العطل في line. والسبب عدم وصول الفولتية العالية للشاشة فيتم استبدال المحوّل transformer او صيانته.
4. ظهور شرارة spark، والسبب سوء توصيل كيبل الأنود مما يؤدي إلى تسريب في الفولتية العالية high tension.

مبدا التليفزيون الملوّن principles of color TV

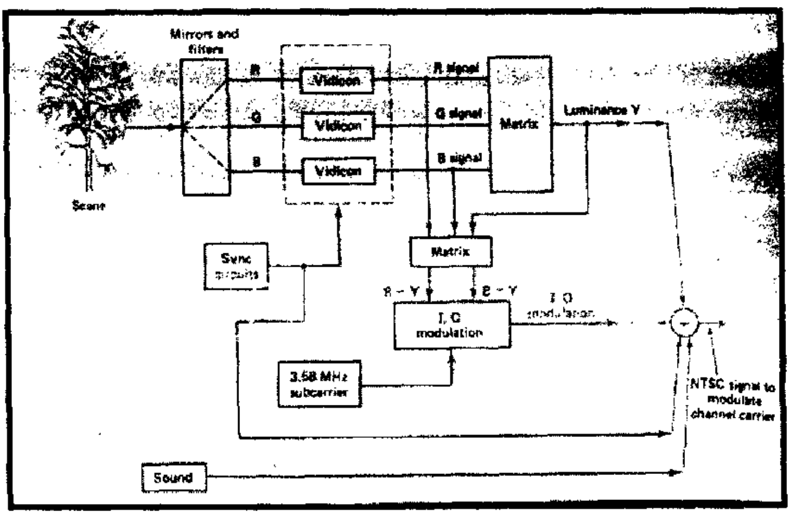
كيف يتوافق نظام التلفزيون الملوّن مع التليفزيون أحادي اللون (monochromatic)؟

لتحقيق ذلك يجب ان يتحقّق التالي:

1. إرسال، و القدرة على إستقبال، الإشارة المرئية المماثلة لتلك في التليفزيون أحادي اللون.
2. إستخدام نفس عرض النطاق المحدّد للقناة التليفزيونية (6 MHz).
3. إرسال المعلومة الخاصة باللون بأسلوب يسمح باعادة إستخلاصها في التليفزيون الملوّن و يسمح بتجاهلها بسهولة في التليفزيون أحادي اللون وبدون حدوث أي تداخل.

يتم في مرحلة الإرسال مسح المشهد المعدّ للتلفزة بواسطة ثلاث انابيب منفصلة في الكاميرا، كل منها حسّاس للون واحد فقط من الألوان الأوّلية (الأحمر Red، الأزرق Blue، الأخضر Green)، حيث يمكن تركيب هذه الألوان بنسب متغيرة للحصول على باقي الألوان التي تميّزها العين البشرية، وفي جهة الإستقبال تعمل هذه الإشارات الثلاث المنفصلة على إضاءة نقاط فوسفورية حمراء و خضراء و زرقاء تدعى (الثلوث triads) فيتم إعادة توليد المشهد بالألوان.

بعد توليد إشارات الألوان الثلاث في المرسل، يتم ادخالها إلى دائرة معالجة للإشارة لانتاج إشارة الإضاءة Y (luminance)، وإشارتي اللون I و Q (chroma) كما هو موضّح في الشكل(1– 39)، حيث تحتوي إشارة Y النسبة الصحيحة المتناسبة مع اللون الأحمر، الأزرق والأخضر بحيث تماثل الصورة الطبيعية (بالأبيض والأسود)، ويتم تعديل هذه الإشارة كما يتم تعديل الصورة التي يتم الحصول عليها من الكاميرا أحادية اللون وبعرض نطاق 4 MHz. بينما تعدّل إشارتي اللون I ،Q التردّد الحامل للّون (3.58 MHz) وتحتل إشارة I نطاق قدره 1.5 MHz بينما تشغل إشارة Q عرض نطاق مقداره 0.5 MHz فقط.



شكل(1– 39) توليد الإشارات الثلاث Y ،I ،Q في مستقبل TV ملوّن

يتم تعديل التردّد الحامل للون بواسطة معدّل متوازن (balanced modulator)، حيث نوع التعديل السعوي للّون AM–SC. و لا يتم إرسال التردّد الحامل لتجنّب حدوث تداخل في المستقبل. و الطيف الترددي الكامل للموجة موضّح في الشكل (1–31).

يتم تركيب الألوان الأساسية بنسب معينة للحصول على باقي الألوان، فاللون الأبيض مثلاً ينتج من مزج الألوان الثلاث على النحو التالي:

$$Y = 0.3R + 0.59G + 0.11B$$

وتتباين شدّة الصورة بين الأبيض و الأسود باختلاف نسبة تعديل الإشارة Y للتردد الحامل، وليتمكّن المستقبل من تمييز لونين آخرين لابد من إرسال إشارتين بالإضافة إلى Y، و لن يكونا لونين نقيين حيث انّ Y كانت مصفوفة، وفي نظام NTSC تعطى الإشارتين الأخرتين بالعلاقتين:

$$I = R-Y= 0.6R - 0.28G - 0.32B$$

$$Q =B-Y= 0.21R - 0.52G + 0.31B$$

ويتم جمع الإشارات الثلاث المعدّلة و إرسالها، حيث تعطى الإشارة الكلية بالعلاقة التالية:

$$composite = Y + I\cos(F_{sc}\, t) + Q\sin(F_{sc}\, t)$$

حيث F_{sc} هو التردد الداخلي الحامل للوّن، و نلاحظ انّ كلا إشارتي اللون قد حملّت على هذا التردد و إنمّا بفرق طور 90^0.

أمّا في المستقبل، يتم الكشف عن الإشارة أحادية اللون Y كما بيّنا سابقا في التليفزيون الأبيض والأسود ولا يمكن الكشف فيه عن إشارة اللون I و Q لأنّ التردّد الداخلي الحامل للّون لم يرسل (AM–SC) و بالتالي لا تظهر الألوان في المشهد،

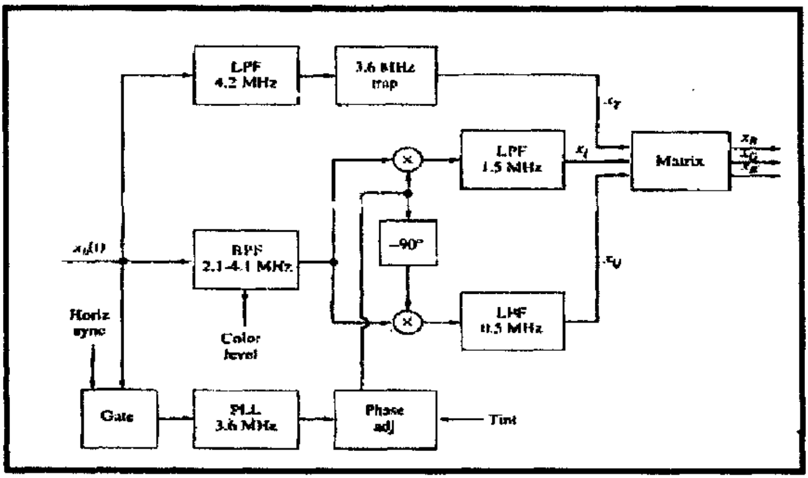
ولا بد من توفير أساليب لإعادة توليد التردد الحامل (3.58MHz) للتمكّن من استخلاص المعلومة I و Q.

والشكل (1– 40) يبيّن دائرة استخلاص الصورة و الألوان، حيث يتم أولا استخلاص الإشارة المرئية و كل من I و Q، ثم يتم ادخال هذه الإشارات الثلاث إلى مصفوفة (matrix) للحصول على الألوان الأساسية على النحو التالي:

$$G = -I - Q + Y$$

$$B = -I + Q + Y$$

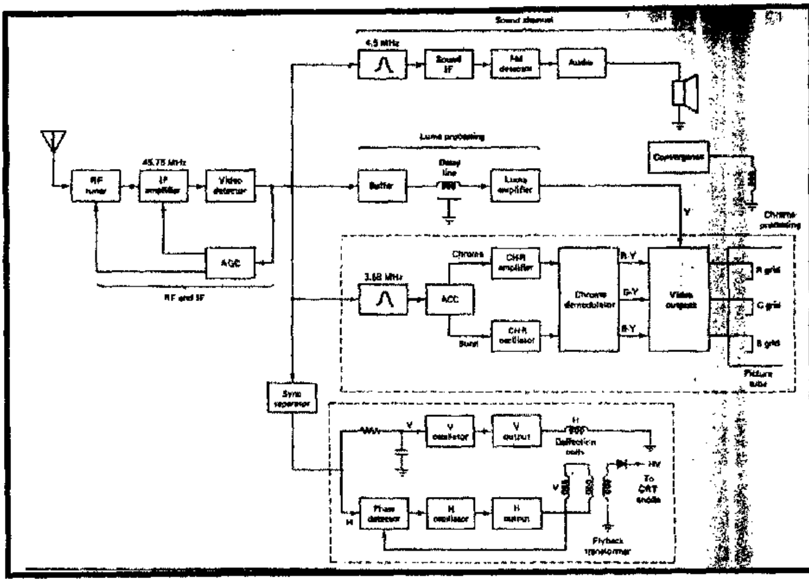
$$R = +I + Q + Y$$



الشكل (1– 40) يبيّن دائرة استخلاص الصورة والألوان

يوضّح الشكل (1–41) المخطط الصندوقي الكامل للمستقبل الملوّن، نلاحظ اشتراك نظام الاستقبال أحادي اللون والنظام الملوّن بالعديد من الدوائر الالكترونية، فكلاهما يحتوي دوائر للتوليف، قطاع مرحلة متوسطة للصوت والصورة، دوائر التعديل العكسي للصوت، ودوائر التزامن الأفقي والرأسي، العارض ذو

الأنود العالي الجهد، و أخيراً دوائر تكبير الإشارة المرئية، حيث يكون لهذه الدوائر نفس التصميم والعمل الذي تؤديه مثيلتها في المستقبل أحادي اللون، ولقطاع اللون وحدة AGC خاصة به (منفصلة عن وحدة AGC للمرحلة المتوسطة) للحفاظ على تغاير ثابت، و يظهر الإختلاف الوحيد في دائرة استرجاع اللون (في قطاع الصورة) وتركيب انبوب الصورة.



شكل (1−41) المخطط الصندوقي الكامل لمستقبل نظام TV الملوّن

في أجهزة الإستقبال الملوّنة لا بد من وجود دائرة قتل اللون color killer، والتي تظهر فائدتها عند إرسال صورة أحادية اللون، ففي هذه الحالة لا ترسل إشارة لون أساساً و بالتالي تقوم هذه الدائرة بفصل قطاع اللون كي لا ينتج إشارة مشوّهة.

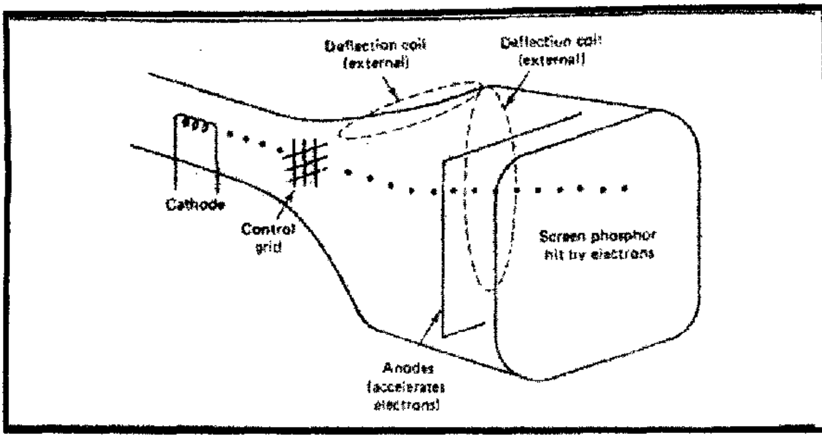
تنبيه: لا بد من الحذر عند صيانة او استكشاف الدوائر داخل التليفزيون، فعلى الرغم من أنّ معظم الدوائر آمنة فإنّ الخط عالي الفولتية يشكّل خطورة لأنّ

مكثّفات التليفزيون تخزّن هذه الفولتية العالية لعدّة دقائق حتى بعد فصل التغذية عن الجهاز، و تسبّب بذلك صدمة مهلكة، لذلك لا بد من أخذ بعض التدابير الوقائية مثل إستعمال العوازل او تفريغ المكثّف.

شاشة العارض CRT:

يبيّن الشكل (1-42) انبوب عرض الصورة Cathode Ray Tube (CRT). تعمل شاشة CRT على إنتاج الصور بتحريك الشعاع الكتروني المتحرك داخل أنبوب الكاثود الكبير ذهابا وإيابا وفقا لإشارة التزامن الأفقي والرأسي، حيث يسلّط الشعاع على بلّورات فوسفورية في داخل الأنبوب الزجاجي خط بعد خط (ويبلغ عدد هذه النقاط حوال 200 الف بلّورة و تسمة بالبلّرات الثلاثية لانها تعطي الثلاث ألوان الرئيسية) فعند تصادم الإلكترونات بالنقاط الفوسفورية تعطي الألوان الأساسية الثلاث (في التليفزيون الملوّن بينما تعطي اللون الأبيض و الأسود وفقا لشدّة الإشارة في التليفزيون أحادي اللون)، حيث يحفّز الشعاع الحامل للّون الاخضر النقطة الخضراء من البلورة و يحفّز الشعاع الاحمر النقطة الحمراء فيها. ونحصل على التناغم في الصورة بزيادة معدّل المسح حيث يقل تذبذب الصورة.

يتم تغذية الأنود في العارض CRT بفولتية عالية (تتراوح قيمتها من 8kv–11Kv في التليفزيون أحادي اللون، بينما تزيد عن 20 Kv في التليفزيون الملوّن)، وينتج الكاثود شعاع الإلكترونات، والذي يوجّه نحو واجهة العرض، حيث يصدم النقاط الفوسفورية، ويختلف اللون الناتج في النقطة بإختلاف شدّة الشعاع اللحظية، وحيث ملف التزامن الأفقي والرأسي حركة وسرعة هذا الشعاع من خلال توليد مجالين كهربائي ومغناطيسي.



الشكل (1–42) انبوب عرض الصورة Cathode Ray Tube (CRT)

في الماضي كانت شاشات CRT تصمّم بسطح منحني، أمّا الآن فقد قاد التطور في التقنيات إلى تصميم شاشة CRT للحواسيب و التليفزيون بشكل مسطّح تماماً، وهي لا تزال كبير في الحجم والوزن مثل القديمة ولكنها تمتاز بالجودة العالية في وضوح الصورة.

وبتطور التقنيات الرقمية ظهرت الشاشات الكريستالية السائلة Liquid Crystal Display (LCD)، لا تحتوي هذه الشاشات الرفيعة جدا على أنبوب الكاثود، بل تحتوي في المقابل على خلايا كريستالات سائلة (خضراء، حمراء وزرقاء) التي تشكّل النقطة pixel، وتزوّد مصفوفة من الترانزيستورات الفيلمية الرفيعة هذه الخلايا الكريستالية بالتغذية (الفولتية) ممّا يسبّب إشعاع كمية معينة من الضوء في كل منها، وتتكوّن الشاشة من خمس طبقات هي: طبقة الضوء الخلفي backlight، طبقة زجاجية مستقطبة، طبقة الخلايا الملوّنة، غلاف المحلول الكريستالي السائل التي تستجيب لإشارات من لشبكة السلكية ذات المحورين X و Y، تتبع الأخيرة بطبقة زجاجية ثانية، لإظهار الصورة على الشاشة يتم تسليط شحنات كهربائية بإحداثيات دقيقة وبدرجات وفولتية متغيرة فتؤثر على ترتيب

الكريستالات السائلة وتسبّب تغيير كمية الضوء الذي يمرّ خلال ألوان معينة للنقاط pixels.

وتتميّز كل من شاشة CRT وLCD بعدد من المزايا والسيئات، فمن حسنات CRT:

1. السعر المنخفض مقارنة بشاشة LCD.
2. مصداقية الألوان التي لا يمكن تحقيقها بشاشة LCD.
3. القابلية على معايرة الصورة.
4. درجة السطوع تسمح بتمييز اللون الأسود و الأكثر سوادا.
5. تعمل بشكل جيد مع درجات مختلفة من تحليل المكونات resolution.

من سيئات شاشة CRT:

1. استهلاك طاقة أكثر و التحويل الحراري الأكبر.
2. حجم و وزن اكبر من شاشة LCD.
3. عدم الإستغلال الكامل للشاشة، فالمساحة المستغلة من شاشة 19 in هي 18 in فقط.

ومن حسنات شاشة LCD:

1. الوزن الخفيف و سهولة التخزين و النقل.
2. خلو الشاشة من الخفقان.
3. المساحة المستغلة من الشاشة اكبر من مثيلتها في شاشة CRT.
4. التخلص من إشعاع الترددات المنخفضة.
5. إستهلاك نصف (أو ثلث) الطاقة التي تستهلكها الشاشة CRT و لا تولّد حرارة.

من سيئات شاشة LCD:

1. طبقة الضوء الخلفي back light هي الوصلة الضعيفة و تبديلها مكلف و غالبا لا تزيد الكفالة عليها أكثر من سنة.
2. نسبة السطوع لا تسمح بعرض درجات السواد بوضوح.
3. الشاشة قابلة للعطب باللمس أو التحريك.
4. زاوية الرؤيا المثلى هي بكش متعامد مع الشاشة و ليس بزاوية منحرفة.

مقارنة لأنظمة التلفزيون الثلاث PAL, SECAM, NTSC

إنّ تحديد الاختلاف بين أنظمة التلفزيون ليس بالأمر السهل بمجرد النظر، ولكن لكل نظام من أنظمة التلفزيون العالمية مواصفات خاصة بها وحسنات وسيئات تمتاز بها.

إنّ أول نظام بث تلفزيوني ملوّن ظهر في أمريكا عام 1953 اعتمادا على معايير اللجنة العالمية لأنظمة التلفزيون National Television System Committee standard (NTSC)، وهو النظام المستخدم في أمريكا وعدد من دول آسيا و اليابان، ويشغّل هذا النظام على 525 خط لكل إطار (line/frame). والجدول التالي يبيّن مواصفات نظام NTSC.

SYSTEM	NTSC M
Lines/Field	525/60
Horizontal Frequency	15.734 kHz
Vertical Frequency	60 Hz
Color Subcarrier Frequency	3.579545 MHz
Video Bandwidth	4.2 MHz
Sound Carrier	4.5 MHz

أمّا نظام Phase Alternating Line standard (PAL) فقد بدأ العمل به عام 1960، ويستخدم في معظم دول أوروبا ماعدا فرنسا، كما أنّه النظام المستخدم في الأردن، وعرض النطاق المخصص لكل قناة في هذا النظام أكبر من العرض المخصص للقناة في نظام NTSC مما يسمح له بإعطاء صورة بجودة أعلى، إنّ أشرطة VHS تتبع نظام PAL، ويشغّل هذا النظام على 625 خط لكل إطار (line/frame)، والجدول التالي يبيّن مواصفات نظام PAL:

SYSTEM	PAL B,G,H	PAL I	PAL D	PAL N	PAL M
Line/Field	625/50	625/50	625/50	625/50	525/60
Horizontal Frequency	15.625 kHz	15.625 kHz	15.625 kHz	15.625 kHz	15.750 kHz
Vertical Frequency	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz	60 Hz
Colour Sub Carrier Frequency	4.433618 MHz	4.433618 MHz	4.433618 MHz	3.582056 MHz	3.575611 MHz
Video Bandwidth	5.0 MHz	5.5 MHz	6.0 MHz	4.2 MHz	4.2 MHz
Sound Carrier	5.5 MHz	6.0 MHz	6.5 MHz	4.5 MHz	4.5 MHz

بدأ العمل بنظام Sequential Couleur Avec Memoire or Sequential Colour with Memory (SECAM) عام 1960 أيضا في فرنسا، ويستخدم نظام SECAM نفس عرض النطاق الذي يستخدمه نظام PAL لكنّه يرسل اللون بشكل تتابعي، ويشغّل هذا النظام على 625 خط لكل إطار (line/frame)، والجدول التالي يبيّن مواصفات نظام SECAM:

SYSTEM	SECAM B,G,H	SECAM D,K,K1,L
Line/Field	625/50	625/50
Horizontal Frequency	15.625 kHz	15.625 kHz
Vertical Frequency	50 Hz	50 Hz
Video Bandwidth	5.0 MHz	6.0 MHz
Sound Carrier	5.5 MHz	6.5 MHz

لكل من هذه الأنظمة حسنات advantages و سيئات disadvantages سنتناولها في ما يلي:

حسنات نظام NTSC:

1. معدّل إطار عالي: يستخدم نظام NTSC معيار 30 إطار لكل ثانية مما يقلّل الومض المرئي visible flick.
2. معالجة ذرية للّون: بنظام NTSC يمكن معالجة حدود نقطة بأربعة مجالات دون يفسد اللون.
3. تشويش الصورة قليل: معظم مكونات قطاع الصورة في نظام NTSC يحقّق نسبة إشارة إلى التشويش اقل من نظام PAL.

سيئات نظام NTSC:

1. عدد قليل من الخطوط الماسحة للمشهد: انخفاض درجة الوضوح في شاشات التلفزيون الكبيرة، حيث ان بناء الخطوط يصبح مرئي بشكل أوضح.
2. عرض نطاق المخصص للصورة اقل: نتيجة وضع التردد الحامل للّون على 3.58MHz تصبح عيوب الصورة، مثل التموج و تداخل اللون، أكثر وضوحا، والسبب في ذلك يرجع إلى الإحتمالية الأكبر للتداخل مع الصورة أحادية اللون المرسلة على التردد الداخلي المنخفض.

3. الحساسية للتذبذب في اللون: التغيّر في الإزاحة للتردد الداخلي الحامل للّون يسبّب ازاحة للون المعروض، ممّا يتطلّب تزويد جهاز TV المستقبل بأجهزة ضبط للوّن.
4. نسبة المغايرة في الصورة قليلة low gamma ratio: نسبة المغايرة في الصورة في نظام NTSC تضبط على 2.2، في المقابل تضبط هذه النسبة على 2.8 في نظام PAL. و يعني ذلك انّ نظام PAL ينتج صورة بدرجة تباين contrast اعلى.
5. الكثير من أجهزة التليفزيون TV تحتوي دائرة التحكم بدرجات اللون الآلي، هذه الدائرة تغيّر كل الوان البشرة تقريبيا إلى درجة معيارية بحيث تخفي تأثيرات تذبذبات الصورة، ويعني ذلك ان مدى معيّن من ظلال الألوان لن تعرض بشكل صحيح، يظهر هذا في أجهزة الاستقبال الرخيصة، أمّا الأجهزة المتطورة فتحتوي على تحويل لهذا الخاصية.

حسنات نظام PAL

1. عدد أكبر من خطوط المسح: و بالتالي الحصول على صورة بتفاصيل أكثر.
2. عرض نطاق أكبر للصورة المرئية: في هذا النظام يضبط التردد الداخلي الحامل للّو على بعد 4.43 MHz من التردد الحامل للصورة ممّا يوفّر عرض نطاق أكبر للإشارة احادية اللون من مثيله في نظام NTSC.
3. الشكل المستقر stable hues: يتم عكس طور التردد الداخلي للخطوط المتناوية وبالتالي فإنّ أي خطأ في الطور سيصحّح بمقدار متساوي ومتعاكس من الخطأ للخط التالي له وبالتالي تصحيح الخطأ الأصلي، في تطبيقات PAL المبكّرة كانت تؤخذ القدرة الدنيا للعين البشرية على تحليل الألوان لتقييم متوسط التأثير، امّ الآن فيتم ذلك بخط تأخير delay line.

4. نسبة المغايرة في الصورة كبيرة low gamma ratio: تضبط نسبة المغايرة في الصورة في نظام PAL على 2.8. ويعني ذلك أنّ نظام PAL ينتج صورة بدرجة تباين contrast أعلى، ويمكن ملاحظة ذلك عند إستخدام أجهزة متعدّدة الأنظمة كضوابط الإضاءة والسطوع التي نحتاجها للحصول على نظرة مشابهة لإشارة الصيغتين.

سيئات نظام PAL:

1. وميض أكثر more flicker: نتيجة معدّل الإطار المنخفض يمكن ملاحظة ترجرج الصورة بشكل أكثر وضوح خاصة بالنسبة لمستخدمي NTSC.
2. نسبة SNR أقل: بسبب عرض النطاق الأوسع لنظام PAL يكون نسبة الإشارة للتشويش SNR أقل من نظام NTSC.
3. فقد الدقّة في معالجة اللون: بسبب تناوب الطور لإشارة اللون فإنّ إشارة اللون والطور تلتقي في نقطة واحدة كل 8 fields/4 frames. يعني ذلك، أنّ تنفيذ المعالجة ممكن بدقّة ±4 frames فقط.
4. الإشباع المتغيّر للّون: بما أنّ نظام PAL يحقّق الحصول على لون دقيق من خلال إختزال فروق الطور بين الإشارتين، فإنّ إختزال الخطأ قد ينتج عنه تخفيض لإشباع اللون بينما يحافظ على الصورة بشكل مستقر. لحسن الحظ أنّ قدرة العين البشرية على إستشعار التغير في الإشباع أقل من تذبذبات الصورة.

حسنات نظام SECAM:

1. إستقرارية الصورة والإشباع الثابت: يتشارك نظام SECAM مع نظام PAL في إمكانية عرض الشكل باللون الصحيح، وتمتاز عنه بأفضلية ثبات السطوع واللون أيضا.

2. عدد اكبر من خطوط المسح (625 line)؛ وبالتالي الحصول على صورة بتفاصيل أكثر.

سيئات نظام SECAM:

1. وميض أكثر more flicker: نتيجة معدّل الإطار المنخفض يمكن ملاحظة ترجرج الصورة بشكل أكثر وضوح خاصة بالنسبة لمستخدمي NTSC.
2. عدم إمكانية مزج إشارتين ملونتين متزامنتين بنظام SECAM: معظم استديوهات التليفزيون في البلدان التي تستخدم نظام SECAM تبدأ بنظام PAL وتحوّل لغرض البث.
3. يسبّب التردد الداخلي الحامل للصوت (FM) تاثير patterning effect حتى للإرسال أحادي اللون.
4. صغرعرض النطاق للإشارة احادية اللون.
5. عدم الانسجام بين صيغتين مختلفتين لنظام SECAM: لأنظمة SECAM مدى واسع من الاختلافات نتيجة إطلاق هذا النظام، ولو جزئيا، لأسباب سياسية، مثال على ذلك، نظام SECAM الفرنسي يستخدم FM للتردد الحامل الداخلي FM بينما يستخدم النظام MESECAM التعديل AM للتردد الحامل الداخلي.

نظام البث الرقمي Digital system:

تمثّل الإشارة المرئية في النظام التشبيهي analog بموجة مستمرة (متغيرة مع الزمن)، بينما تمثّل في النظام الرقمي بسلسلة من الصور الرقمية. و من مزايا النظام الرقمي:

1. لا حاجة لنبضات التزامن و نبضات الإطفاء.
2. عدم مواجهة مشكلة عند إعادة التسجيل.
3. التداول العشوائي المباشر: و هو جيد للمعالجة الغير خطية للإشارة المرئية.

يوضّح الجدول التالي معايير Consultative Committee for International Radio (CCIE) للإشارة الرقمية:

system	NTSC	PAL/SECAM
Luminance resolution	720 x 485	720 x 576
Chrominance resolution	360 x 485	360 x 576
Fields/sec	60	50

معدّل البيانات في NTSC هو 165Mbps، وفيه يستخدم المسح المتراكب، وفي أنظمة التلفزيون المتقدّمة ATSC تستخدم معايير البث التلفزيوني العالية HDTV، والجدول التالي يبيّن المعايير المستخدمة:

Vertical Lines	Horizontal Pixels	Aspect Ratio
1080	1920	16:9
720	1280	16:9
480	704	16:9 & 4:3
480	640	4:3

فنسبة الواجهة aspect ratio في نظام HDTV هي (16:9)، في المقابل تكون هذه النسبة في أنظمة PAL و SECAM (4:3)، أي زيادة 33% في البعد الأفقي، ولحساب معدّل البيانات لنأخذ المثال التالي: إذا كانت عدد الخطوط الرأسية 1080 وعدد pixels الأفقية 1920 وعدد الإطارات لكل ثانية 30 فإنّ معدّل النقاط في الثانية هو:

1920 x 1080 x 30 = 62.2 millions pixels per second

وإذا إستخدمت 16 bits لتمثيل النقطة الواحدة فإنّ المعدّل النهائي للبيانات يصبح:

the bit rate = 62.2 x 16 = 995 Mbps

نجد انّ معدّل البيانات في نظام HDTV اكبر بكثير من معدّل البيانات في انظمة SECAM و PAL.

تكنولوجيا IrDA و Bluetooth:

من الاسئلة التي تتبادر الى الذهن ما الفرق بين تقنية البلوتوث وتقنية الانفراريد؟

ان تقنية الانفراريد هي الأكثر استخداما في أجهزة التحكم عن بعد للتلفاز المستخدمة في جميع المنازل والتي تستخدم الأشعة الضوئية تحت الحمراء، وتختلف المسافة التي يمكن أن تنتقلها اشارة الانفراريد باختلاف قوة التحكم، ولكنها عادة اقل من 50 قدم للأجهزة الالكترونية المنزلية، ولا بد من توفر خط نظر مباشر بين جهاز التحكم والتلفاز للكشف عن اشارة الانفراريد المرسلة، ففي حالة وجود أية حواجز (كالجدار او غير ذلك) فلن يتم التقاط الاشارة.

من جهة اخرى، فان تقنية البلوتوث تستخدم الترددات الراديوية التي تسمح بالارسال عبر الجدران والحواجز، ان المدى المعياري للصنف الثالث من أجهزة البلوتوث هي 30 قدم، مما يجعلها مثالية لاستخدام سماعات التليفون اللاسلكية والتي يمكن استخدامها في السيارات وغيرها من التطبيقات، وستميز كل صنف بقدرة قصوى معينة ومدى ارسال خاص، والذي يزيد بزيادة القدرة.

ان تقنية البلوتوث تعتمد على استخدام التردد 2.4GHz، وبالتالي فان أجهزة البلوتوث المختلفة تتصل ببعضها البعض بغض النظر عن نوعها (مصنعها). ويعد هذا واحد من الاختلافات الرئيسية بين تقنية البلوتوث وتقنية الانفراريد، حيث أن معظم اجهزة الانفراريد لا تعمل الا مع معدات تتلائم معها.

لقد تم استبدال تقنية الانفراريد بتقنية البلوتوث في معظم المجالات، ولكن تستخدم تقنية Wi-Fi في الشبكات اللاسلكية بسببها مداها الأوسع وعرض نطاقها الأكبر (من البلوتوث).

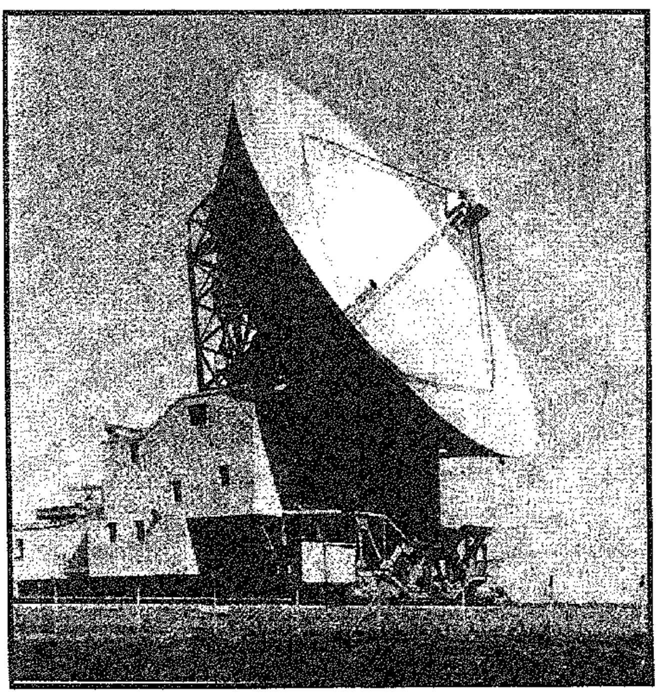
ويمكن المقارنة بين الانفراريد و البلوتوث من حيث:

1. نقل البيانات data transfer : للانفراريد يكون معدل نقل البيانات لغاية 4Mbps، و في مرحلة التطوير لرفع هذا المعدل الى 16Mbps . بينما معدّل ارسال البيانات بالبلوتوث يصل الى 1 Mbps كقيمة عظمة و بمتوسط 721Kbps.
2. المدى range: مدى الانفراريد لغاية 3 قدم، بينما تصل لغاية 30 قدم أو أكثر في البلوتوث.
3. خط النظر Line of Sight: تحتاج تقنية الانفراريد للنقل على خط النظر، بينما لا يتطلب الارسال بالبلوتوث ذلك.
4. تكلفة التطبيق: تكلفة تطبيق الانفراريد اقل بكثير من البلوتوث.

الوحدة الثانية

نظام الاتصال باستخدام الأقمار الصناعية

Satellite Communication System



نظام الاتصال بإستخدام الأقمار الصناعية

Satellite Communication System

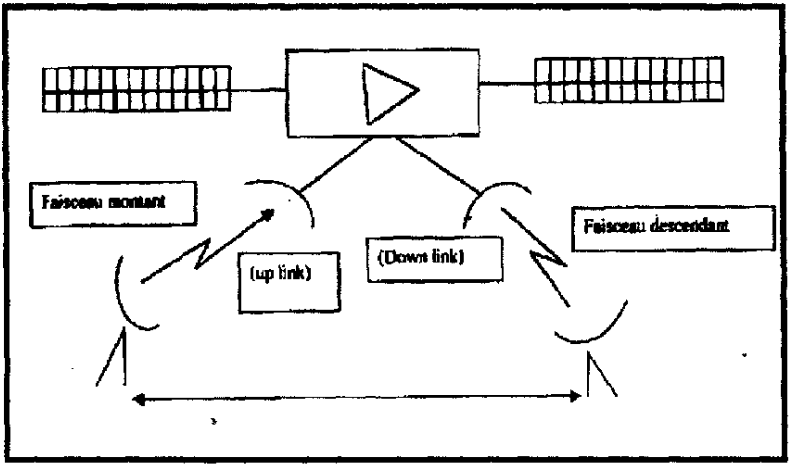
1. مقدمة:

ان إنتشار موجات الميكروويف على خط النظر Line of sight (LOS) يصلح للربط بين نقطتين متقابلتين، ولكنها غير فعالة للربط بين نقطتين متباعدتين على الأرض نتيجة تحدب سطحها، ومع الحاجة للاتصال اللاسلكي بين البلدان والقارات جاءت أهمية إنتشار موجات الميكروويف عبر الأقمار الصناعية satellite الذي يغطي مساحات شاسعة من الأرض.

ان من ابسط أنواع الأقمار الصناعية هي العاكسات غير الفعالة passive reflector التي تعكس الموجة المرسلة باتجاه آخر إلى نقطة مستقبلة على الأرض من دون تكبيرها، وبالتالي فهي لا تمثل وحدة إرسال جديدة للموجة و إنما عاكس لها فقط، ولذلك فإنّها تتسم بعدم التعقيد، مثال على ذلك إستخدام القمر الطبيعي للاتصالات في أمريكا بين واشنطن وهاواي في الفترة 1959 إلى 1967 في أغراض عسكرية، وعلى الرغم من إطلاق أول قمر صناعي يدور حول الأرض في عام 1957، إلا ان إستخدامات الأقمار الصناعية بقي مقتصرا في البداية على الأغراض العسكرية، ولكن مع تنامي الحاجة إلى سعة الاتصالات في المجالات التجارية المختلفة (هاتف، إذاعة، تلفاز، بريد إلكتروني...) ظهرت أجيال جديدة من الأقمار الصناعية تخدم المجالات المختلفة.

1. الجيل الأول: نظام الخدمات الثابتة للأقمار الصناعية fixed service:

في هذا النظام يستخدم القمر الصناعي للربط بين المحطات الأرضية الثابتة للربط بين الوصلة الصاعدة up-link والوصلة الهابطة down-link (شكل2 – 1).



شكل(2 – 1) نظام اتصال بالقمر الصناعي بين محطتين ارضيتين ثابتتين

ومن سمات هذا النظام ان القمر الصناعي كان صغير الحجم أما هوائيات الإرسال والاستقبال الأرضية فكانت ثابتة و كبيرة الحجم (قطرها حوالي 30 متر). كما اتسمت هذه الأنظمة بالتكلفة العالية.

تم تطوير القمر الصناعي بحيث يتم استقبال الإشارة ومن ثم تسجيلها وتكبيرها وإعادة بثها إلى الأرض، تم هذا في عام 1962م، وفي نفس العام أطلقت مختبرات بيل الأمريكية قمراً اسمه (تلستار 1) سعة محددة مكالمات هاتفية وقنوات تلفزيونية، القمر موجود في مدارات قريبة من الأرض، وفي العام 1964 تم تطوير الأقمار بحيث وضعت في مدارات عالية وثابتة بالنسبة للأرض (تسير بسرعة الأرض)، "سنكوم 3" اسم القمر تبعاً للشركة سنكوم، استخدم لنقل الألعاب الأولبية من اليابان.

قامت كوسمسات (مؤسسة الاتصالات بالأقمار الصناعية communication satellite corporation) بإطلاق اول قمر صناعي للأغراض التجارية، EARLY BIRD، الذي أطلق في 1965 وكانت تكلفته 10 ملايين

دولار، ثم القمر INTELSAT II في عام 1967 و INTELSAT III في عام 1968 وINTELSAT IV في عام 1971، وفي نهاية السبعينات تم إطلاق INTESAL IVA وINTELSAT V. وكانت سعة "إنتلسات 4 عدة قنوات هاتفية وقناتين تلفزيونيتين، لزيادة عدد القنوات التلفزيونية والهاتفية تم أطلاق القمر الصناعي "إنتلسات 7".

ومع التطور التقني وزيادة حجم الأقمار الصناعية في الثمانينات استخدمت هوائيات أرضية صغيرة، وسميت بأنظمة الفيسات VSAT-Very Small Aperture Terminal. واصبحت هذه المحطات الصغيرة قابلة للنقل.

في مختبرات شركة Bell كانت مهد اقمار صناعية تجارية، TELSTAR، حيث وجدوا ان الأقمار الصناعية ذات القدرة العالية و التصميم المتقدم يمكن ان تعالج حركة البيانات و بكلفة اقل.

2. الجيل الثاني: انظمة الاتصالات المتنقلة بواسطة الأقمار الصناعية

في بداية التسعينات تطورت الأنظمة لتشمل بالإضافة للقمر الصناعي والمحطات الأرضية الثابتة على محطات أرضية متنقلة، فيتم الاتصال بين المحطة الأرضية الثابتة والمحطات المتنقلة التابعة لها (كالطائرات والبواخر) عبر القمر الصناعي، ولكن لا تتمكن المحطات المتنقلة من الاتصال في ما بينها إلا عبر المبدلات الأرضية.

3. الجيل الثالث: الأنظمة المحمولة mobile systems

في أوائل القرن العشرين أصبحت للأقمار الصناعية القدرة على أداء وظائف أخرى بالإضافة للتكبير، منها تبديل القنوات (channel switching) والتشبك (networking) والمعالجة الرقمية للموجة (digital signal processing DSP). فاصبح بالإمكان الربط بين القمر الصناعي وأجهزة متنقلة صغير الحجم

دون الحاجة إلى المرور بالمحطة الأرضية، كخدمة الهواتف الخلوية وخدمات البريد الإلكتروني عبر الأقمار الصناعية.

مع تطور الأجيال زاد حجم القمر الصناعي و بالتالي قدرته، بينما صغر حجم الأطراف الأرضية وقلّ تعقيدها وتكلفتها، وعلى الرغم من اقتصار إستخدام الأقمار الصناعية في البداية على الأغراض العسكرية، فقد امتدت إستخداماتها لتشمل نواحي مختلفة منها:

1. في مجال الاتصالات المتنقلة Mobile Satellite Services (MSS)
2. في مجال البث الإذاعي و التلفزيوني والمعلوماتية Broadcasting Satellite Services (BSS)
3. الخدمات الثابتة للأقمار الصناعية(Fixed Satellite Services (FSS
4. في مجال الرصد الجوي Meteorological Satellite Services (Meteo SS).
5. في مجال الملاحة الجوية و البحرية Navigation Satellite Services (NSS).

كما تم إطلاق القمر العربي (بدر 4) منذ فترة قريبة، وسيوفر هذا القمر سعات قمرية كبيرة فى حزم ترددية مختلفة منها ما يستخدم لأول مرة وبطاقة عالية جداً، وستغطى مناطق العالم العربي وبعض الدول المجاورة؛ ما يتيح المجال للتوسع فى تقديم الخدمات.

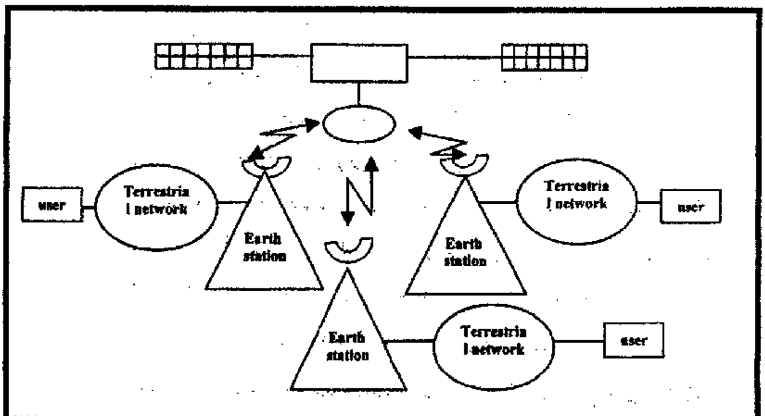
2. تعريف نظام الاتصالات بإستخدام الأقمار الصناعية و مزاياه:

نظام الاتصال بالأقمار الصناعية هو نظام إنتشار موجات الميكروويف لمسافات طويلة عبر قمر صناعي موضوع في الفضاء الخارجي، حيث يشكّل القمر الصناعي وحدة الاستقبال في الوصلة الصاعدة up link، ويمثّل وحدة الإرسال في الوصلة النازلة down link، ويقصد بالوصلة الصاعدة الوصلة من الأرض إلى

القمر الصناعي، بينما يطلق على الوصلة من القمر الصناعي إلى الأرض مصطلح الوصلة النازلة.

يمكن القول ان نظام الاتصال بالأقمار الصناعية يتكوّن أساساً من القمر الصناعي الموضوع في الفضاء الخارجي، بالإضافة إلى محطات أرضية earth station كما هو موضح في الشكل (2 – 2).

يقوم المستخدم بتوليد البيانات (كالصوت في المكالمة التليفونية أو الصورة أو البيانات المكتوبة في حاسب آلي أو فاكس و غير ذلك)، و يوجهّها إلى المحطة عبر الشبكة الأرضية terrestrial، الشبكة الأرضية يمكن ان تكون بدّالة هاتف أو اي خط مخصص لأي خدمة أخرى و تربط بالمحطة الأرضية.



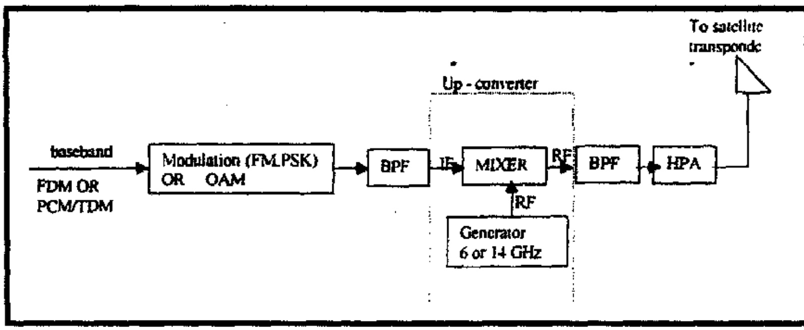
شكل(2 – 2) مكونات نظام القمر الصناعي

وفي المحطة الأرضية تعالج البيانات وتحمّل على تردد راديوي RF وترسل إلى القمر الصناعي(الوصلة الصاعدة)، يكبّر القمر الموجة المعدّلة ويعيد إرسالها إلى الأرض باتجاه المحطة المستقبلة (الوصلة النازلة)، و يكون الطيف الترددي للوصلة الصاعدة مختلف عن الطيف الترددي للوصلة النازلة لتجنب التداخل بين الموجات، يلتقط هوائي المحطة الأرضية المستقبلة الموجة الراديوية المعدّلة ويعكس التعديل

لاستخلاص موجة البيانات الأرضية ذات التردد المنخفض والتي يتم نقلها عبر شبكة أرضية إلى المستخدم المقابل.

ويتكون نظام الاتصال بالأقمار الصناعية من ثلاث أجزاء أساسية:

1. الطرف المرسل Transmitter: في طرف الإرسال يتم تجميع المعلومات من عدة مستخدمين بواسطة مجمّع (multiplexer) وتمرّ بمراحل مختلفة منها التشفير والتكبير والتعديل (التحميل على تردد عالي)، ثمّ ترسل بواسطة الهوائي إلى القمر الصناعي، حاليا تتم معالجة البيانات في المرسل وليس في القمر الصناعي، وتعتمد سرعة وجودة البيانات المرسلة على كسب الهوائي المستخدم و طاقة الإرسال ونوع التعديل، والشكل (2 – 3) يبيّن المخطط الصندوقي للوصلة الصاعدة up link.

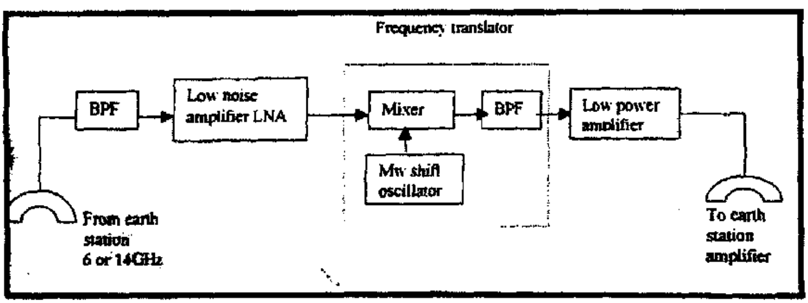


شكل(2 – 3) المخطط الصندوقي للوصلة الصاعدة up link

حيث تدخل موجة البيانات ذات التردد المنخفض بعد تشفيرها و تجميعها إلى معدّل IF modulator (لتحويلها إلى موجة FM او PSK او QAM حسب نوع التعديل المستخدم)، ثم يرفع التردد بالمازج mixer و تكبّر الموجة الناتجة بمكبر قدرة عالية high power amplifier (HPA)، ويتم تحويل الموجة المكبرة إلى موجة كهرومغناطيسية لتنتشر في الفراغ إلى القمر الصناعي.

2. الجزء الفضائي: الممثّل بالقمر الصناعي satellite، وابسط انواعه القمر غير الفعّال passive satellite الذي لا يحتوي على مكبّرات و بالتالي يقتصر عمله على عكس الإشارة المرسلة إلى اتجاه آخر نحو الأرض (من دون تكبير). أمّا القمر الصناعي الفعّال active satellite، فهو يقوم باستقبال الموجة المرسلة و المحمّلة على تردد عالي (موجة معدّلة) و يكبرّها و يغيّر مجال ترددها و من ثم يعيد بثّها باتجاه الأرض إلكترونيا. فيمكن اعتباره معيد repeater موجود في الفضاء الخارجي. و الشكل (2- 4) يوضح المخطط الصندوقي للجزء الفضائي المتلقي للموجة Transponder.

مصفى تمرير الحزمة الترددية BPF في بداية المخطط يحدّد التشويش الكلي الداخل إلى المكبّر (مكبّر الموجة بالتشويش المنخفض Low Noise Amplifier LNA). الموجة المكبّرة الخارجة من المكبّر تغذي دائرة محوّل الترددات (المازج و المهتز المزيح للترددات) و الذي يحوّل الموجة من نطاق ترددات الوصلة الصاعدة إلى نطاق ترددات الوصلة النازلة. و من ثم تدخل الموجة إلى مكبّر القدرة المنخفضة (low power amplifier) قبل إرسالها ثانية إلى الأرض.



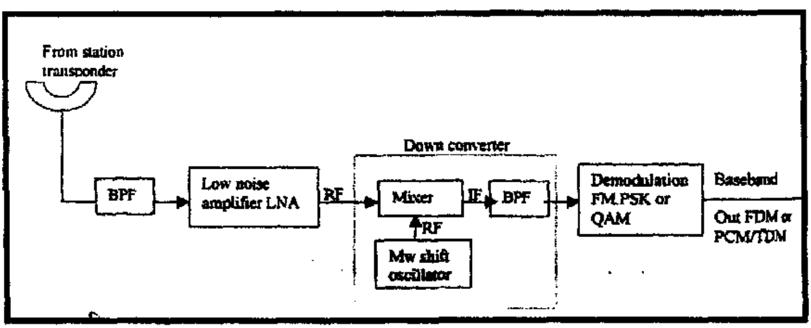
شكل(2 – 4) المخطط الصندوقي للمتلقي في الفضاء transponder

وكان حجم القمر الصناعي في البداية صغير (40 كغ)، واخذ بالازدياد مع التطور التكنولوجي (1500 كغ)، ففي الوصلة الصاعدة يمثّل القمر الصناعي المستقبل، بينما يمثّل المرسل في الوصلة النازلة.

ويحدث فقد loss في قدرة الموجة المرسلة نتيجة مرورها بطبقات الجو المختلفة والفضاء الخارجي وتعرضها لعدة عوامل كالأمطار وغيرها، وبشكل عام يوجد ثلاث مصادر للتشويش في انظمة الأقمار الصناعية:

أ. التشويش الناتج عن الطبقات الجوية العليا sky noise.
ب. التشويش الحراري thermal noise.
ج. التشويش الفضائي solar noise.

3. الطرف المستقبل Receiver: يتم استقبال الموجة المعاد إرسالها من القمر الصناعي بواسطة الهوائيات ومن ثم تمر بمراحل مختلفة لاستخلاص البيانات المحمّلة على تردد عالي (عكس التعديل) و فك التشفير والتكبير أيضا و تحويلها إلى المستخدم، والشكل (2 – 5) يوضح مكونات الوصلة النازلة.



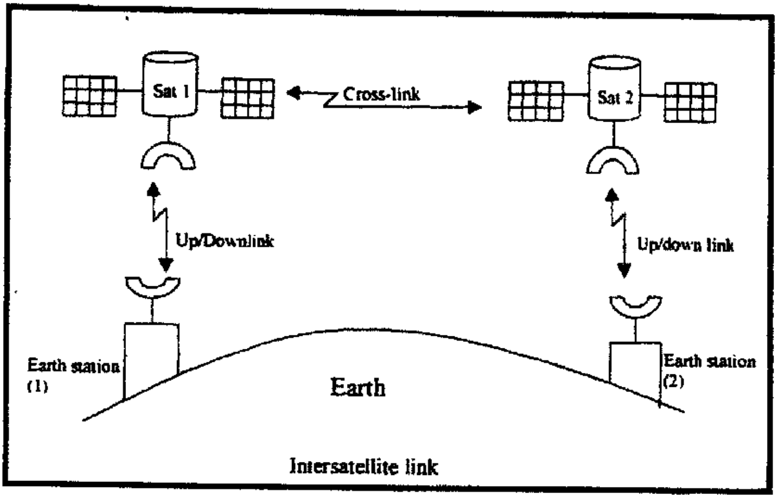
شكل(2 – 5) المخطط الصندوقي للوصلة النازلة down link

نلاحظ أن مراحل الاستقبال معاكسة لمراحل الإرسال، يحدّد BPF قدرة التشويش الداخل LNA ذو الحساسية العالية (و ذلك يعني انه ذو تكبير عالي)، ثم يتم تخفيض التردد RF إلى IF مرة اخرى، ويقوم Demodulator بعكس عملية التعديل (بحسب نوع التعديل المستخدم في المرسل فنحصل على البيانات الأصلية، وكما الحال في المرسل، فإنّ تكبير هوائي الاستقبال يؤثر على جودة البيانات، كما يشكل مستوى التشويش في المستقبل عامل مؤثر أيضا.

وعلى الرغم من أن الوظيفة الرئيسية للمحطات الأرضية هي إرسال واستقبال المعلومات فإنّ إحداها على الأقل يجب أن يتحمّل مهمة إضافية، وهي التحكم بالقمر الصناعي.

من المصطلحات التي يجب التعرف عليها "إعادة إستخدام التردد "Frequency reuse، ويقصد بهذا المصطلح الإرسال على استقطابين متعامدين (استقطاب عمودي vertical polarization واستقطاب افقي horizontal polarization، ويمكن عزل هذين الاستقطابين بحوالي 3dB او أكثر، و ذلك بفصل الترددات المركزية للمتلقي transponder ذو الاستقطاب المتعامد، بحيث يغطى طرف واحد فقط من الموجة الراديوية بالاستقطاب المتعامد.

بعض التطبيقات تحتاج أحيانا الاتصال بين الأقمار الصناعية بعضها البعض، ويستخدم لهذا الغرض وصلة داخلية للقمر الصناعي inter satellite link (ISL) و الموضح في الشكل (2 – 6).



شكل(2 – 6) الاتصال بين الأقمار الصناعية بعضها البعض

مزايا الاتصال بإستخدام الأقمار الصناعية:

يمتاز نظام الاتصال بالأقمار الصناعية بمزايا عدة عن الأنظمة الأخرى، أهمها :

1. جودة الموجة **signal quality**:

نظام الاتصالات بالأقمار الصناعية له معيد واحد (القمر)، بينما أنظمة الميكروويف تحتاج إلى معيدات بين كل منها والآخر من 20 إلى 40 ميل، ان كل معيد يشكّل مصدر للتشويش الذي يهبّط من مستوى الموجة، و بتعدّد المعيدات يتراكم التشويش من معيد إلى آخر، وبالتالي فإنّ إستخدام القمر الصناعي يحلّ هذه المشكلة و يزيد من جودة الموجة. ففي أنظمة الاتصال الرقمية يكون معدّل الخطا في النبضة $BER=10^{-8}$ في انظمة الأقمار الصناعية، بينما يساوي $BER=10^{-5}$ في انظمة الميكروويف.

2. سعة الإنتشار broadcast capacity:

إمكانية نقل المعلومات من نقطة إلى نقاط عدة بحيث تغطي مساحات واسعة، فإنتشار موجات الميكروويف على خط النظر LOS يحتاج معيدات موضوعة على مسافة (20 – 40) ميل من بعضها البعض.

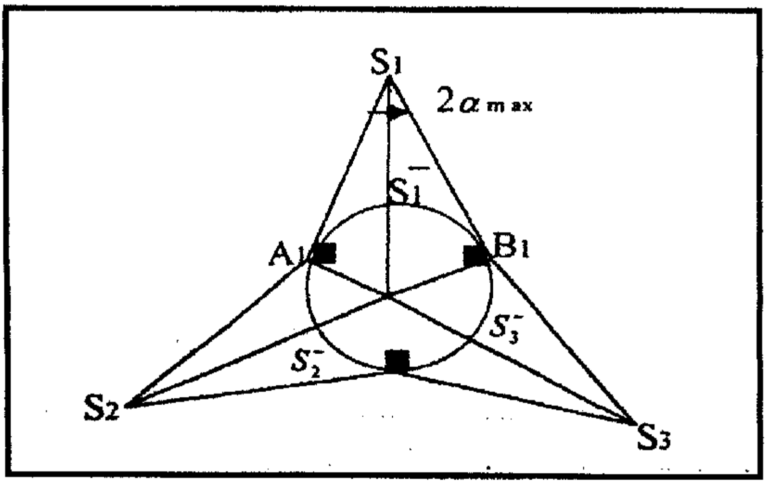
يمكن حساب المسافة التي يغطيها القمر الصناعي في المدار الإستوائي الواحد، من الشكل (2 – 7) نجد انّ المسافة بين اقصى نقطتين يغطيهما القمر هي طول القوس $A_1S_1B_1$، و الذي يساوي:

The arc length $(A_1S_1B_1) = 2 \times \theta \times radius$

حيث:

2θ : هي زاوية خط الطول longitude angle (تساوي 16.7).

radius: نصف قطر الكرة الأرضية (تساوي تقريبا 6370 Km).

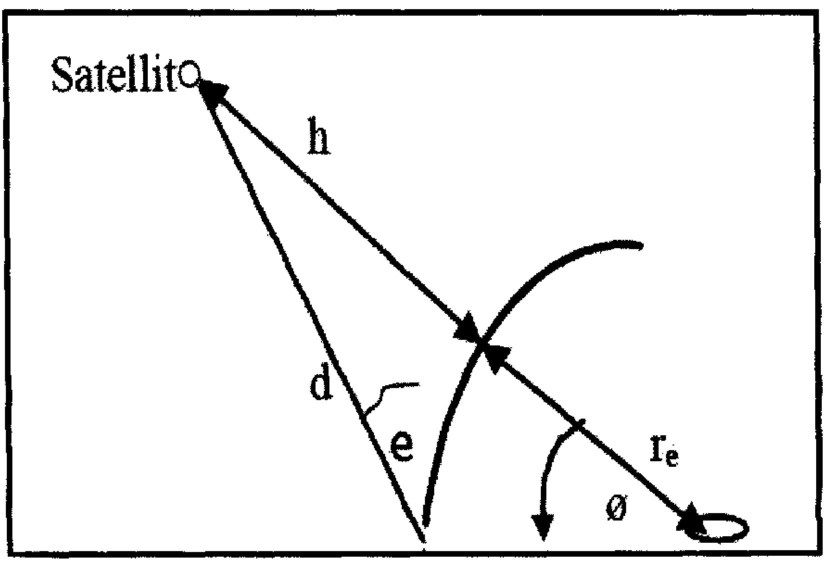


شكل(2 – 7) المساحة التي يغطيها القمر في المدار الإستوائي

إن أي محطة أرضية تقع ضمن حدود 18088 كم يمكنها الاتصال مع محطة أخرى ضمن نفس الحدود، من الشكل السابق نلاحظ ان ثلاث أقمار geostationary موضوعة بفرق 120^{0} تكفي لتغطية سطح الكرة الأرضية.

كما يتميز نظام الأقمار الصناعية بإمكانية إستخدام القمر الصناعي للخدمات المختلفة (هاتف، قنوات إذاعية، قنوات تلفزيونية، فاكس،..الخ) بسبب خاصية التشبيك المرن flexible networking، لكن السيئة في إستخدام الأقمار الصناعية هو التأخير Delay الذي يحدث لأن الموجة عليها أن تنتقل بعيدا في الفضاء و تعود مرة أخرى للأرض. إن إنتشار الموجة يحتاج 270 ms ويختلف هذا الرقم إختلافا طفيفا بحسب موقع المحطة الأرضية، إن مستخدم الهاتف ينتظر الاستجابة من الطرف الآخر 540ms، و540ms إضافية إذا كانت المكالمة عبر الأقمار الصناعية في كلا الطرفين.

ومن الشكل التالي يمكن حساب أكبر مساحة A_{cov} تغطى من الأرض بالقمر الصناعي بمعرفة أصغر زاوية صمت e، فكلما صغرت هذه الزاوية وزاد إرتفاع القمر فوق سطح الأرض زادت المساحة التي يغطيها.



حيث تعطى هذه المساحة بالعلاقة الرياضية التالية:

$$A_{\text{cov}} = 2\pi r_e^2 \left(1 - \cos\varphi\right)$$

حيث:

r_e: نصف قطر الكرة الأرضية.

$\varphi = 180^\circ - (90^\circ + \theta + e)$

$= 90^\circ - \theta - e$

توزيع الترددات المستخدمة في انظمة الأقمار الصناعية:

ان كسب الهوائي المستخدم يتناسب طرديا مع التردد المستخدم وفق العلاقة الرياضية التالية:

$$G = \eta \frac{4\pi A f^2}{C^2}$$

حيث ان:

G: كسب الهوائي antenna gain

A: مساحة منفذ الهوائي

C: سرعة الضوء ($3*10^8$ m/s)

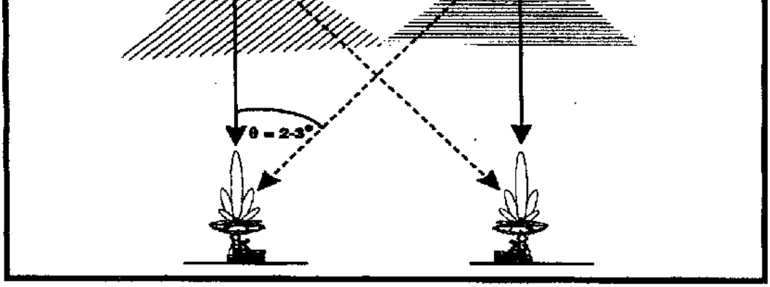
η: كفاءة منفذ الهوائي (أقل من 1)

f: التردد المستخدم (Hz)

نتيجة العلاقة الطردية، فإنّ زيادة التردد المستخدم يزيد كسب الهوائي (زيادة التوجّه) من مزايا إستخدام الترددات العالية إستخدام هوائي بحجم صغير. مثال على ذلك، أن كسب الهوائي بقطر 30 سم بإستخدام مدى ترددي 4/6 GHz يكافئ كسب الهوائي بقطر 15 سم فقط بإستخدام مدى ترددي 12/14 GHz.

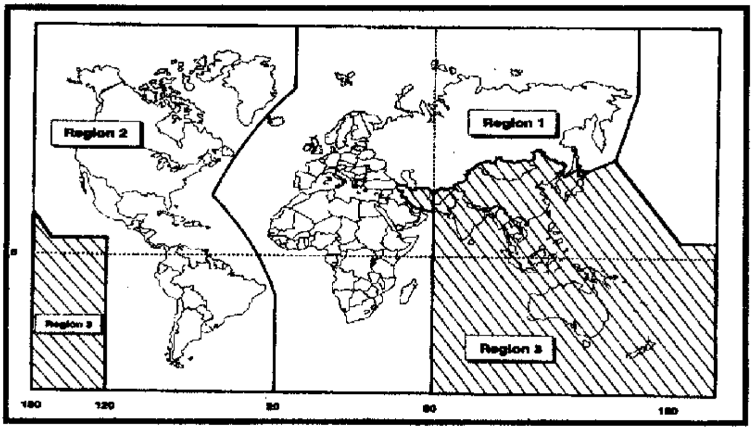
لا بد من مراعاة أمرين عند اختيار تردد للإستخدام، هما:

1. **عرض الشعاع beam width**: يزداد عرض الشعاع بإنخفاض التردد، مما يؤدي إلى زيادة التداخل من الأقمار الأخرى. و الشكل (2 – 8) يوضّح تأثير عرض الشعاع (او فتحة إشعاع الهوائي) في التداخل. و في الوقت نفسه نجد أنّ الكثير من الاستخدامات تستلزم فتحة إشعاع واسعة و لذلك تستخدم هوائيات ذات الإشعاع في كافة المجالات. و في الإتصالات المتنقلة لا بد من الملائمة بين التردد المستخدم و فتحة الإشعاع المطلوبة.
2. **توهين المطر rain attenuation**: إنّ تأثير المطر على الموجة يزيد بزيادة التردد، فتوهين المطر للمدى الترددي 12/14GHz أعلى منه للمدى الترددي 4/6 GHz. كما انّ التشويش الداخلي في جهاز الاستقبال يزيد بزيادة التردد، ولحل هذه المشكلة يتم زيادة قدرة الاشارة المرسلة أو زيادة كسب الهوائي الاستقبال على الأرض.



شكل(2 – 8) تداخل الحزم الشعاعية للأقمار الصناعية

ان عملية اختيار التردد المستخدم ليست اختيارية تماما، حيث ان الاتحاد العالمي للاتصالات (ITU) يوزّع موارد الترددات في العالم، فيقسّم العالم إلى ثلاث مناطق: المنطقة الأولى تشمل أوروبا وأفريقيا وروسيا، والمنطقة الثانية تشمل شمال وجنوب أمريكا، والمنطقة الثالثة تشمل آسيا واستراليا وجنوب غرب المحيط الهادي، انظر الشكل (2 – 9)، ويختلف نطاق التردد بإختلاف المنطقة والخدمة المطلوبة، فيختلف نطاق التردد للخدمة الواحدة بإختلاف المنطقة المخدومة.



شكل(2 – 9) تقسيمات العالم إلى ثلاث مناطق

ان الترددات المستخدمة في أنظمة الاتصالات بالأقمار الصناعية تقع في نطاق الترددات الفائقة Super High Frequencies (SHF) والترددات القصوى Extremely high frequencies (EHF). وتقسّم هذه النطاقات إلى نطاقات جزئية أصغر يرمز لكل منها بحرف لاتيني. و الجدول (2 – 1) يوضح ترميز النطاقات المستخدمة في خدمات الاتصالات بالأقمار الصناعية.

جدول 2 – 1 ترميز النطاقات المستخدمة في أنظمة الأقمار الصناعية

رمز النطاق	المدى الترددي band range GHz
UHF	0.3 / 1
L	1 / 2
S	2 / 4
C	4 / 8
X	8 / 12
Ku	12 / 18
K	18 /24
Ka	24 / 40
mm	40 /100

والتسمية الجديدة للنطاقات (هذه التسمية قليلة الإستخدام) موضحة في الجدول (2 – 2):

جدول 2 – 1 ترميز النطاقات المستخدمة في أنظمة الأقمار الصناعية

رمز النطاق	المدى الترددي band range GHz
C	0.5 / 1
D	1 / 2
E	2 / 3
F	3 / 4
G	4 / 5.5
H	5.5 / 8
I	8 /10
J	10 / 20
K	20 /40
L	40 / 60
M	60 /100

ملاحظة: ان الرقم الأول يمثّل تردد الوصلة النازلة للنطاق بينما يمثّل الرقم الثاني تردد الوصلة الصاعدة له.

التشويش Noise:

لا بد من المحافظة على مستوى إشارة أعلى من مستوى التشويش، ومن مصادر التشويش:

1. جهاز الإستقبال: ينتج التشويش في المستقبل من المكبّرات و العناصر الالكترونية نتيجة إرتفاع درجة الحرارة و التي تسبّب زيادة التشويش.
2. الهوائي: يتأثر الهوائي بالتشويش بحسب توجيه الهوائي بالنسبة للشمس. و غالبا الهوائي الأرضي الأكثر شيوعاً هو البرابول.
3. وسط الإنتشار و الناتجة من العوامل الطبيعية (الرياح و الأمطار و غيرها) و غير طبيعية (محركّات و أجهزة الإرسال).

وتحسب إشارة التشويش وفق العلاقة التالية:

$$N = k\,(T_e + T_o)\,B$$

حيث:

k: ثابت بولستمان و يساوي 1.38×10^{-23} W/Hz/K

T_o: الحرارة المكافئة من جهة هوائي الإستقبال.

T_e: الحرارة المكافئة من جهة جهاز الإستقبال

B: عرض النطاق، بالهرتز

N: قوة إشارة التشويش.

وتعطى العلاقة بين T_e و T_o بالعلاقة التالية:

$$T_e = T_o(F-1)$$

حيث تمثّل F معامل التشويش. و بالتالي تصبح قوة التشويش على النحو التالي:

$$N = k\,(T_e + T_o)\,B$$

$$= N = k\,(T_o(F-1) + T_o)\,B$$

$$= k\,T_o F\,B$$

يتبيّن من العلاقة النهائية ان التشويش يزيد بزيادة عرض النطاق أو درجة الحرارة أو معامل التشويش، وتعطى نسبة قدرة الاشارة المرسلة الى قدرة اشارة التشويش على النحو التالي:

$$\frac{S}{N} = \frac{P_r}{kT_e B} = \frac{P_r}{kT_o FB}$$

وفي الانظمة الرقمية يتم الحكم على جودة الاشارة من خلال نسبة طاقة النبضة الى كثافة طاقة التشويش بالعلاقة التالية:

$$\frac{E_b}{N_o} = \frac{P_r T_b}{\frac{N}{B}} = \frac{P_r T_b B}{N} = \frac{P_r B}{R_b N}$$

حيث:

T_b : زمن ارسال النبضة الواحدة

R_b: معدّل ارسال النبضات، و التي تساوي: $R_b = \frac{1}{T_b}$

3. مدارات الأقمار الصناعية و انواعها:

توضع الأقمار الصناعية في الفضاء في ثلاث انواع من المدارات orbits موضحة في الشكل (2 – 10) وهي:

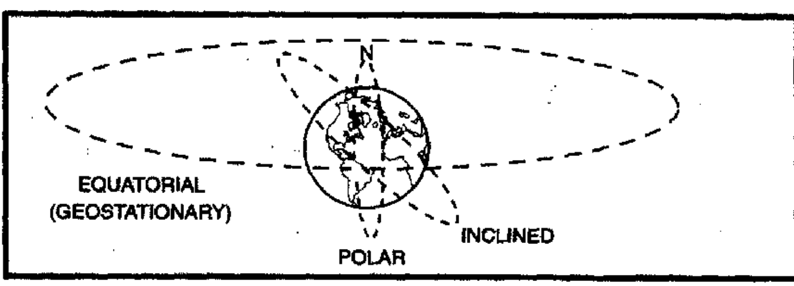
أ. مدار إستوائي equatorial (geostationary).

ب. مدار قطبي Polar.

ج. مدار مائل عن خط الاستواء inclined.

يحدّد نوع نظام القمر الصناعي الإرتفاع الذي يثبّت فيه فوق سطح الأرض. المدار الإستوائي geostationary هو الأكثر شيوعا في البث الإذاعي و التلفزيوني broadcasting، ويظهر القمر في المدار الإستوائي كنقطة ثابتة بالنسبة لمشاهد على سطح الأرض.

ان وضع القمر في المدار الإستوائي على إرتفاع 36000 كم يعطي جودة عالية للصوت والصورة في الاتصالات المرئية و المسموعة، لكن من عواقب هذه المسافة البعيدة الزمن الذي تحتاجه الإشارة للانتقال من الأرض إلى القمر رجوعا إلى الأرض مرة أخرى، حتّى الضوء (سرعته $3*10^8$ m/s) يحتاج إلى حوالي 0.24 s لإكمال هذه الرحلة، ان هذا التأخير يسبب صدى مزعج ما لم تعمل الدوائر الإلكترونية المصاحبة على تقليل تأثيره إلى أقصى درجة.



شكل(2 – 10) مدارات الأقمار الصناعية orbits الثلاث

لا تواجه أقمار المدار القطبي أو المائل هذه المشكلة لأنهم يوضعوا على إرتفاعات أقل من المدار القطبي، لكن من جهة أخرى ستظهر مشكلة في البث، فعلى مشاهد القمر على سطح الأرض أن يقتفي أثره نتيجة حركة دوران الأرض بشكل غير متزامن مع حركة القمر. و إذا تطلّب نقل البيانات فإنّ ميكانيكية نقل سلسة تستعمل لنقل المعلومات من قمر إلى آخر قبل ان يختفي في الأفق.

يرتبط إرتفاع القمر الصناعي و مدة دورانه حول الأرض. يوجد قوتين يؤثران على القمر. الأولى هي قوة الجاذبية الأرضية F_1، و الثانية هي القوة الدورانية الناتجة عن حركة القمر F_2 حول الأرض. حيث:

$$F_1 = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

$$F_2 = 4\pi^2 \frac{m_1 d}{t^2}$$

حيث:

m_1: كتلة القمر الصناعي.

m_2: كتلة الأرض (61024 كغ).

d: المسافة من محور الأرض إلى القمر، و تساوي نصف قطر الأرض + إرتفاع القمر عن سطح الأرض $(d=6370000+ r)m$.

t: زمن الدورة الكاملة للقمر حول الأرض.

G: ثابت جاذبية الكون $(G=6.67 * 10^{-11} N.m^2/Kg)$.

إذا كانت $F_1>F_2$ فيؤدي ذلك إلى سقوط القمر على الأرض. أما إذا كانت $F_2>F_1$ سيؤدي ذلك إلى ضياع القمر في الفضاء الخارجي. لتثبيت القمر الصناعي في مداره لا بد ان تتساوى القوتين:

$$F1 = F2$$

$$G\frac{m_1 m_2}{d^2} = 4\pi^2\frac{m_1 d}{t^2}$$

وبالتالي نجد ان العلاقة بين إرتفاع القمر و زمن الدوران هي:

$$d = \sqrt[3]{\frac{t^2 G m_2}{4\pi^2}}$$

$$t = \pi \times 10^7 \times d^{\frac{3}{2}}$$

أي ان كل زيادة في إرتفاع القمر تقابله زيادة في الزمن اللازم لإتمام الدورة الواحدة.

مثال: القمر في المدار الإستوائي يدور مع الأرض بتزامن اي أنه يحتاج 24 ساعة لإتمام الدورة الواحدة و بالتالي يجب ان يوضع على إرتفاع:

$$t = \pi \times 10^{-7} \times d^{\frac{3}{2}}$$

$$24 \times 60 \times 60 = \pi \times 10^{-7} \times d^{\frac{3}{2}}$$

$$d = 42245 Km$$

$$hight = 42245 - 6370 = 35875 Km$$

أي ان القمر في المدار الإستوائي يوضع على إرتفاع حوالي 36000 كم فوق سطح الأرض ليتم دورة كاملة كل 24 ساعة في تزامن مع دوران الأرض حول نفسها، فيبقى القمر الصناعي ثابت في السماء بالنسبة لمشاهدٍ على الأرض.

مثال آخر: عند وضع القمر على إرتفاع أقل سيؤدي ذلك إلى انخفاض زمن الدورة الواحدة. فلو وضع القمر على إرتفاع 1730 كم فإنّ الزمن اللازم لإتمام الدورة الواحدة يصبح:

$$t = \pi \times 10^{-7} \times d^{\frac{3}{2}}$$
$$= \pi \times 10^{-7} \times (1730000 + 6370000)^{\frac{3}{2}}$$
$$= 7238.6 \sec onds$$
$$= 2 hours$$

إن تعديل مدار القمر من وقت إلى آخر يستهلك الوقود والطاقة ويخفّض العمر الافتراضي للقمر.

تقسّم أنظمة الأقمار الصناعية، من حيث المناطق التي تغطيها، إلى محلية ودولية، بينما يتم تقسيمها، من حيث إرتفاع مدارها فوق سطح الأرض، إلى الأنواع التالية:

1. نظام المدار المتزامن مع دوران الأرض Geostationary-Earth-Orbit (GSO).

كما ذكرنا سابقا عن هذا المدار، هو مدار موازي لخط الاستواء. يوضع القمر الصناعي فيه على إرتفاع يقارب 36000 كم فوق سطح الأرض، بحيث يدور بتزامن مع حركة الأرض حول نفسها (دورة واحدة كل 24 ساعة)، فيلاحظ المشاهد على الأرض القمر و كأنه نقطة ثابتة في السماء.

يتمتّع هذا المدار بعدة مميزات، أهمّها:

1. لا يتطلب أجهزة استقبال أرضية معقّدة، و ذلك لعدم الحاجة لتتبّع القمر الصناعي كونه ثابت بالنسبة لنقطة الاستقبال (بسبب حركته المتزامنة مع حركة الأرض)، فالهوائيات الثابتة اعمل معه بشكل مرضي (مزوّدة بإمكانية التعديل اليدوي).

2. لعدم وجود وحدة تحكم رقمية للتتبّع computer-controlled في القمر الصناعي فإنّ تكلفته تكون أقل.
3. إن أي محطة أرضية تقع ضمن حدود 18088 كم يمكنها الاتصال مع محطة أخرى ضمن نفس الحدود، و هذا يعني أنّ قمر صناعي واحد قادر على تغطية مساحة شاسعة من الأرض.
4. من الشكل (2 – 7) نلاحظ أن ثلاث أقمار GSO موضوعة بفرق 120^{o} تكفي لتغطية سطح الكرة الأرضية (ما عدا منطقة القطبين).
5. خاصية التشبيك المرن flexible networking الذي يمكّن القمر الصناعي من توفير خدمات متعددة.
6. لا حاجة للتبديل من قمر إلى آخر لعدم اختفاءه وراء الأفق، و نتيجة للتغطية الشاملة تقلّ مشاكل توزيع المعلومة routing problem.
7. تقريبا لا وجود لظاهرة دوبلر، ان التغير في التردد الظاهري للإشعاع إلى ومن القمر الصناعي ينتج عن حركته بالنسبة للمحطة الأرضية. ان الأقمار في المدارات البيضاوية تعاني من إزاحة دوبلر (إزاحة في التردد) تختلف من محطة أرضية إلى أخرى وهذا يسبّب تعقيد أجهزة الاستقبال، خاصة عند ربط عدد كبير من المحطات معا.

من جهة أخرى فإنّ للمدار المتزامن بعض المساوئ، أهمها:

1. بسبب المسافة بين القمر الصناعي والأرض، فإنّ قدرة الموجة المستقبلة، والتي تتناسب عكسيا مع مربّع المسافة بين نقطتي الاتصال، تكون ضعيفة. كما تعني تأخيرا في الإنتشار 270 ms.
2. ضرورة إستعمال أجهزة إرسال نظامية عالية القدرة و هوائيات كبيرة الحجم لضمان إرسال موجة معلومات بقدرة مناسبة إلى القمر الصناعي البعيد.
3. التكلفة العالية لعملية وضع القمر الصناعي في هذا المدار البعيد، و يحبذ ان يكون موقع الوضع قريب من خط الاستواء.

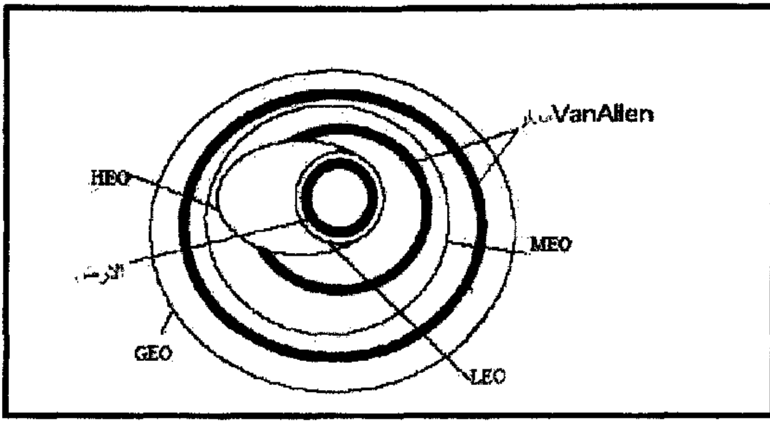
4. ضرورة توفير أجهزة تحكّم بتعديل موقع القمر من الأرض، حيث توجد إمكانية تغير موقعه بحوالي 60 كم.
5. عدم تغطية خطوط العرض الأكبر من 81.25° (او اكبر من 77° إذا كانت زاوية الإرتفاع أقل من 5 درجات، حيث تمنع الحواجز إنتشار الموجة بخط النظر من وإلى القمر (وهذه الخطوط تشمل مناطق أخرى بالإضافة للقطبين المتجمدين).

تعريف زاوية الإرتفاع elevation angle للقمر الصناعي: هي الزاوية بين امتداد القمر إلى جهة هوائي الإرسال (او الاستقبال) وبين الأفق، وكلما كانت زاوية الإرتفاع صغيرة فإنّ الإشعاعات الراديوية تعاني أكثر من التشويش والامتصاص، وتعدّ 5° زاوية الإرتفاع العملية الدنيا.

من مجمل هذه المزايا و السيئات نستنتج ان الأقمار الصناعية في المدار المتزامن غير فعالة لأنظمة الاتصالات المتنقلة ولذلك فإنّها تستخدم في الخدمات الثابتة كالبث الإذاعي و التليفزيوني.

2. نظام المدار المنخفض **Low –Earth-Orbit (LEO)**:

ان السبب الرئيسي في إستخدام المدار القطبي polar هو تمكين نقطة ما على سطح الأرض من الاتصال بنقطة أخرى، ومن الواضح ان قمر مداري قطبي واحد لا يغطي إلا مساحة صغيرة في أي وقت بالرغم من دورانه حول معظم الكرة الأرضية لشهور و سنين، و يرجع ذلك لعدم التزامن بين حركة القمر وحركة الأرض تحته، ان أقمار LEO ذات الإرتفاع القليل، بين 200 كم و 1500كم (حزام Van Allen الداخلي الموضّح في الشمل (2 – 11)، تعني



شكل(2 – 11) حزامي Van Allen الداخلي و الخارجي

أن الخسارة الناتجة في الإشارة عن المسار اقل منها في مدار GSO، ولكن نتيجة حركة الأقمار السريعة غير المتزامنة مع الأرض فإنّ تأثير دويلر يظهر واضحا فيها، فنتيجة حركتها يحدث إزاحة للتردد المستخدم وتعتمد على السرعة التي يتحرك بها المرسل والمستقبل فتقل قيمة التردد بزيادة سرعة التباعد بين المرسل والمستقبل. كما ان التغير في مسار الإشارة يؤدي إلى التغير في توهين الإنتشار بتفاوت ملموس.

من المشاكل الأخرى التي تظهر هي التظليل shadowing عند تحرّك القمر خلف المباني العالية خلال إجراء المكالمة و التي يمكن أن تؤدي إلى انقطاع الإرسال في بعض الأماكن.

من جهة أخرى، فإنّ المسافة القليلة بين القمر والأرض تجعل التأخير الزمني بينهما مهمل مقارنة بنظيره مع القمر GSO، كما ان الاتصال على هذه المسافة القصيرة تسمح بالاتصال بواسطة الهاتف المركّب لترددات راديوية منخفضة القدرة.

إن أول نظام LEO اطلق من قبل Motorola عام 1998 واحتوى 66 قمر يشكلون حلقة ثابتة تدور حول الأرض، وكانت على إرتفاع 780 كم فوق سطح الأرض، وتدور بسرعة 27km/h بينما تدور هوائيات الحزم بسرعة 66km/s بالنسبة للأرض، ان الدورة الواحدة للقمر تستلزم 100 دقيقة و28 ثانية، ويمكن مشاهدته من نقطة ثابتة على الأرض لمدة (5 – 10) دقائق.

3. نظام المدار متوسط الإرتفاع (Medium –Earth-Orbit (MEO:

يوجد إرتفاع المدار القطبي المتوسط MEO بين LEO و GSO، على إرتفاع يتراوح بين 5000 كم و 13000 كم (بين حزامي Van Allen الداخلي والخارجي)، ونتيجة إلى إرتفاع القمر فإنّه يغطي مساحات أوسع من التي يغطيها القمر LEO.

ان أقمار LEO و MEO مكمّلة لأنظمة الهواتف الخلوية، ومن الناحية التقنية يوجد صراع بين مشتركي LEO و MEO، حيث حدّدت نطاقات الترددات للخدمات حول العالم من 2483.5MHz إلى 2500 MHz في S-Band للوصلة النازلة، ومن 1610 MHz إلى 1626.5 MHz في L-Band للوصلة الصاعدة. وهو عرض نطاق صغير سيؤدي، ان لم تتم توسعته، إلى إستخدام انظمة LEO وMEO لنفس النطاقات الترددية.

ان الحزم الشعاعية لأقمار MEO تقريبا بنفس كسب نظيرتها لأقمار LEO، ولكن بسبب العدد الأقل للأقمار يجب تسليط عدد اكبر من الحزم. كما لا تظهر المشاكل الناتجة عن حركة القمر بنفس بروزها مع اقمار LEO.

ويمكن تلخيص مميزات الأقمار القطبية LEO و MEO بالنسبة للأقمار المدارية GSO بالنقاط التالية:

1. تحتاج طاقة إرسال اقل.

2. تؤمّن الأقمار الاحتياطية الخدمة في حال حدوث اي اعطال في الأقمار الأساسية.
3. تغطية المناطق التي لا تغطيها اقمار GSO كالقطبين.
4. التأخير الزمني مهمل نسبيا.
5. زاوية الإرتفاع أعلى من نظيرتها لأقمار GSO.

من جهة أخرى، للأقمار القطبية LEO و MEO سيئات بالنسبة للأقمار المدارية GSO نلخصها بالنقاط التالية:

1. بسبب حركتها السريعة، مدّة الربط مع القمر الواحد تكون قصيرة و بزاوية إرتفاع متغيرة باستمرار.
2. نتيجة عدم التزامن نحتاج للتحكم الدقيق بالاتصال.
3. المساحة التي يغطيها القمر الواحد صغيرة و لذلك نحتاج إلى عدد اكبر من الأقمار لتغطية مساحات شاسعة.

4. نظام المدار البيضاوي Elliptical –Earth-Orbit (EEO):

اقمار المدار البيضاوي توضع على إرتفاعات تتوسط الأقمار القطبية والأقمار المدارية، فتكون اقرب إلى الأرض من GSO بمئات الكيلومترات ولكنها على إرتفاع كافي لتغطي مساحات أوسع من LEO. وكون المدار بيضوي الشكل فالمسافة بينه وبين الأرض تختلف من نقطة إلى أخرى، فتكون اقرب نقطة منه إلى الأرض على مسافة 500 كم، بينما تكون أبعد نقطة منه إلى الأرض على مسافة 40500 كم.

وتأتي خصائص أقمار هذا المدار بين خصائص الأقمار المدارية والقطبية سواء من حيث الإرتفاع، سرعة الحركة، عدد الأقمار التي تغطي نقطة واحدة، الكتلة و غير ذلك كما هو موضّح في الجدول (2 – 3) للمقارنة بين المدارات الثلاث.

يخترق حزام Van Allen هذا المدار مما يعرّض الأقمار الصناعية فيه لإشعاعات قوية بشكل مستمر.

مثال على أنظمة EEO أقمار MOLNYA SVCOM:

جدول (2 – 3) مقارنة بين أقمار المدارات القطبية و المدارية و البيضاوية

	GSO	LEO	EEO
شكل المدار	دائري	دائري	بيضوي
إرتفاع المدار عن الأرض	36000 – 41000 كم بموازاة خط الاستواء	200 – 1500 كم قطبي	500 – 40500 كم مائل
مدة الدورة الواحدة حول الأرض	24 ساعة	ساعة و أربعين دقيقة	12 ساعة
زاوية الإرتفاع الدنيا	5^0	8^0	80^0
كتلة القمر الصناعي التقريبية	1500 كغ	700 كغ	1000 كغ
تكلفة الإطلاق	كبيرة	قليلة	متوسطة

تأثير مدارات الأقمار الصناعية

يتأثر مدار القمر الصناعي بالعديد من العوامل والتي تسبّب تبديله من وقت لآخر مما يؤدي إلى إستهلاك الطاقة والوقود، و هذا العامل الرئيسي المعدّل للعمر الإفتراضي للقمر الصناعي، مثال على ذلك أنّ الأقمار الصناعية الحديثة تحتوي على كمية وقود تكفي تقريباً لعشرة سنوات، و تسبّ (عدة عوامل كتأثير تغير الجاذبية الأرضية و القوة المؤثرة من الشمس والكواكب الأخرى على القمر نفسه و تسبّب إزاحته drift عن مداره، وإذا كان القمر الصناعي مزوّد بألواح شمسية فيمكن إستخدام الطاقة الشمسية لتصحيح مساره.

ولوضع القمر الصناعي في مدار ثابت فإننا نحتاج إلى عدة خطوات:

1. تبدأ عملية الإطلاق من الأرض حيث يوضع القمر في مدار منخفض يسمى مدار الإيقاف Parking Orbit.
2. عملية إطلاق القمر تمنح القمر الحركة إلى مدار آخر يسمى مدار التحويل Transfer Orbit.
3. نحتاج إلى عملية تصحيح وتوجيه للقمر بعملية التصحيح من المحطة الأرضية وتستغرق العملية حوالي (20) ساعة.
4. بعد ذلك بساعات يتم توجيه القمر وبعد ذلك بأيام ينم إطلاقه إلى المدار النهائي الثابت بسرعة بطيئة.

4. شبكات الأقمار الصناعية:

لنأخذ نبذة عن بعض شبكات الأقمار الصناعية العربية:

القمر الصناعي لإنتلسات 4:

- اطلق عام 1971 وعرض الحزمة له MHz(500).

- مدى التردد لحزمة إرسال المحطة الأرضية =مدى التردد للاستقبال للقمر الصناعي (5.925-6.425)GHz.
- مدى التردد لإرسال القمر الصناعي = مدى التردد لاستقبال المحطة الأرضية (3.7-4.2)GHz.
- المدى الترددي مقسم إلى (12) قسم كل قسم بعرض (40)MHz المستخدم (36)MHz والباقي لأغراض السيطرة وقياس الأبعاد والمراقبة، كل قسم يحمل إشارة أو عدة إشارات منفصلة.
- لأغراض تكبير القدرة نحتاج إلى (12) معيد (Transponder).

القمر الصناعي إنتلسات 4-A:

اطلق عام 1975 وذلك للحاجة المتزايدة لاستعمال الخدمات في مجال الاتصالات مبدأ عله هو مبدأ إعادة استخدام الترددات بواسطة الفصل بين الحزم. يحتاج إلى (20) معيد لذا يغطي سعة أكبر بـ (70%) من إنتلسات 4.

عرض الحزمة له = (500)MHZ ومقسم إلى (12) قسم يمكن استخدام القسم أكثر من مرة. المعيدات لها عرض حزمة MHz (36) وبعض المعيدات ممكن أن تستخدم حزمة ترددات معيدات أخرى.

القمر الصناعي إنتلسات 5:

- اطلق عام 1980 . يستخدم الترددات 11/14 GHz.
- 11GHz الوصلة السفلى.
- 14 GHz الوصلة العليا.
- يستخدم الاستقطاب للفصل وإعادة استخدام الترددات مرة أخرى.

خطة توزيع الترددات:

باستخدام المعيدات (40MHz) المستخدم (36MHz). ويتم التقسيم إلى (12) قسم بعرض (40MHz) / (20 MHz) لأغراض السيطرة وقياس الأبعاد مع العلم أن عرض الحزمة = MHz (500).

لدمج الأقسام مع بعضها يمكن من استخدام معيدات بعرض MHz(72) بدلاً من MHz (36).

القمر الصناعي عربسات:

في عام 1967، في أثناء اجتماع مجلس وزراء الإعلام العرب في تونس، ولدت فكرة "عربسات" كخطوة أولى في السير على الطريق التكنولوجي الصعب والطويل، ثم لم تلبث الجامعة العربية أن أنشأت في عام 1969 اتحاد الإذاعات العربية الذي تولى العمل على تحويل فكرة "عربسات" إلى واقع وحقيقة. وهكذا عقد في عام 1976 أول مؤتمر للاتصالات الفضائية العربية في الأردن، تم فيه الاتفاق على إنشاء المؤسسة العربية للاتصالات الفضائية "عربسات"، التي ولدت فعلاً في عام 1976 عندما قررت الحكومات العربية إنشاءها عن طريق الجامعة لتطوير الاتصالات بين دول الجامعة وتسهيلها عبر استخدام الأقمار الصناعية. وفي عام 1981 وقع الاختيار، بعد مناقصة دولية، على شركة أيروسباسيال الفرنسية التي تعاونت مع شركة فورد أيروسبيس في تصنيع ثلاثة أقمار صناعية تم إطلاقها جميعًا، وكان قد حدد موعد إطلاق القمر الصناعي الأول في أكتوبر (تشرين الأول)، إلا أنه أرجئ أكثر من مرة لأسباب تقنية، تم تجاوزها، فيما بعد، وأطلق في 8 فبراير/ شباط من عام 1984 من جويانا الفرنسية في أمريكا الجنوبية، ثم تم إطلاق "عربسات" الثاني في يونيو/ حزيران من عام 1985. تكاليف إطلاق القمر الأول و الثاني و الثالث هي على الترتيب (24)، (17)، (135) مليون دولار.

لاتختلف بنية "عربسات" عن بنية الأقطار الصناعية الأخرى، أي مبدأ الوحدات الجزئية المتكاملة التي تسهل عمليات التجميع والدمج.

وتشتمل هذه البنية على ثلاث وحدات رئيسية هي:

- وحدة ما يسمى بالحمولة الصافية وهي على شكل نعل الفرس وتحتوي على الأقنية القمرية.
- وحدة تحريك القمر ووحدات فرعية لأغراض أخرى.
- وحدة توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية. وتشتمل على جناحين قابلين للتوجيه يضم كل منهما ألواحًا من اللاقطات الشمسية، والبنية الرئيسية عبارة عن أسطوانة مركزية مصنوعة من مادة هي مزيج (كاربون - إيوكسي) مغلفة التركيب وتحتوي على (نخاريب) معدنية.

ولا يتجاوز عمر القمر الصناعي 7 سنوات من حيث الخدمة، لكن دورته الكاملة تستغرق حوالي 15 سنة لا يتعرض خلالها لأي حادث قد يودي بحياته.

ومن مزايا القمر الصناعي العربي:

1. يغطي الوطن العربي مما يجعل قدرة الإشعاع اقوى من إشعاعات الأقمار الأخرى مما يؤدي إلى أن يكون قطر المحطة الأرضية (11) متر بدلاً من (32) متر للأقمار الأخرى مما يجعل التكلفة قليلة.
2. سعة القمر (26) قناة قمرية وتم توزيع الإرسال والترددات بشكل يلبي حاجات الإدارات لنهاية عمر القمر مما يؤدي إلى عدم الحاجة إلى إجراء أي تعديل على الأجهزة أو الترددات.
3. يوجد قناة قمرية غزيرة الإشعاع تؤهل القمر لبث البرامج الثقافية والإعلامية لمحطات أرضية صغيرة.
4. يستخدم في الاتصالات الوطنية لأي من الإدارات عن طريق استئجار قنواته.

طريقة الربط مع عمان:

1. مشروع الميكرويف سعة (1260) قناة هاتفية + قناة تلفزيونية.
2. الكابل المحوري : يستعمل أربعة خطوط إثنان للإرسال والاستقبال وإثنان احتياط للتوسعة في المستقبل:

سعة (1200) قناة هاتفية + قناة تلفزيونية وأخرى احتياط يوجد بين البقعة وصويلح أربعة معيدات للتغذية.

تغطية القمر الصناعي العربي:

يغطي منطقة القمر الصناعي العربي وعليه فإن الإشعاع الواصل من القمر للمحطات الأرضية يكون غزيراً وأقوى من الإشعاعات الواصلة من الأقمار الأخرى لذا يستخدم (32) متر القطر للمحطات الأرضية للأقمار الأخرى.

خط توزيع الترددات:

تم تصميم القمر بسعة (26) قناة قمرية وتم توزيع الإرسال والترددات بشكل يلبي حاجة الإدارات بحيث لا يوجد دواعي للتعديل في الأجهزة أو الترددات في المستقبل مما يجعل التعامل مع القمر أيسر وأسهل.

توجد قناة غزيرة الإشعاع تؤهل القمر لبث البرامج الإعلامية والثقافية من محطات أرضية صغيرة.

المقارنة بين القمر العربي والإنتلسات:

- حزمة الترددات (500MHz) مقسمة إلى (13) قسم في القمر العربي، (12) قسم في الإنتلسات.
- عرض الحزمة = (33 MHz) في القمر العربي، (36 MHz) في الإنتلسات.

- الفصل بواسطة الاستقطاب:
- 26 قناة قمرية سعة القمر العربي كل واحدة من هذه القنوات تعطي إشعاع يغطي 22 دولة عربية بالوصلة العليا والسفلى، قناة رقم 26 تستخدم لاستقبال البث التلفزيوني بواسطة المحطات الأرضية الصغيرة.

مكونات مشروع القمر العربي:

1. القطاع الفضائي: هو عبارة عن الأقمار الثابتة.
2. القطاع الأرضي: هو عبارة عن المحطات الأرضية ذات قطر 11 متر والمحطات الصغيرة ذات قطر 3 متر.

عدد القنوات المستخدمة في القمر:

26 قناة قمرية موزعة كما يلي:

1. قمرية لتأمين الاتصالات الهاتفية والبرق والتلكس بين الإدارات (اتصالات إقليمية).
2. قناة قمرية للاتصالات الهاتفية من نوع خاص في اتجاهات محددة الحركة وهذا يعادل (3000) قناة هاتفية.
3. قناة قمرية غزيرة الإشعاع للبث التلفزيوني المباشر تستقبل بواسطة محطات صغيرة.
4. قناة قمرية تلفزيونية لبث البرامج التلفزيونية بين الإدارات.
5. قناة قمرية لأغراض الاتصالات الوطنية عن طريق استئجار القنوات.
6. قنوات احتياط.

- السعة القصوى للقناة القمرية (852) قناة هاتفية، القناة الهاتفية يمكن تحميلها بـ (24) قناة برقية او تلكسية بسرعة (50) بود.
- بود = (عدد الخانات الثنائية/الثانية No. of bits/sec).

أما القمر عربسات 3، فمن سماته:

- وزن "عربسات – 3" لحظة إطلاقه: 1310 كيلوجرامات.
- وزنه عندما يصل إلى مداره الجوي: 600 كيلوجرام.
- مقاييسه من حيث الارتفاع: 2.26 متر، وجسمه المركزي: 1.64 متر × 1.49 متر.
- مقاييسه في مداره الجوي: 20.70 م.
- قوته الكهربائية: 1300 واط.
- معدل عمره: 7 سنوات.
- قوته: 8 آلاف دائرة تليفونية و7 برامج تليفزيونية.
- مهمته: توفير خدمات الاتصال والتلفزة ل 21 دولة عربية.
- بنيته: لا تختلف بنية "عربسات – 3" عن بنية "عربسات – 1" "وعربسات – 2" كثيراً.

أن سعات القمر (بدر 4) سيتم إشغالها جميعا مع الاحتفاظ باحتياط مناسب إلى حين إطلاق قمر عرب سات الثاني (بدر6) منتصف عام 2008، وبذلك تكون عرب سات قد حققت التغطية بالكامل على فضاء المنطقة كونها المؤسسة الوحيدة المؤهلة بأسطول متكامل يشمل جميع خدمات البث التليفزيوني الفضائي والاتصالات على جميع الحزم الترددية لتأمين جميع التوسعات المستقبلية التي من المتوقع أن تشهدها منطقة الشرق الأوسط.

الجدير بالذكر أن عرب سات وقعت مؤخرا عقدين أحدهما لتصنيع قمرها بدر 6 مع شركة استريوم الفرنسية والثاني مع شركة أريان سبيس لاطلاق الأقمار الصناعية، كما أن عربسات تضع حاليا اللمسات الأخيرة لمواصفات الجيل الخامس.

5. تقنيات الوصول المتعدد للأقمار الصناعية:

مستخدمي الهاتف يجرون المكالمات بشكل عشوائي. كذلك مستخدمي شبكة الانترنت أو الحاسوب، والمشكلة في الاتصالات هي توفير قناة للاتصال لأي مستخدم بشكل فعال و مرن في أي لحظة على الرغم من محدودية سعة القنوات.

ان عرض النطاق المستخدم في نظام القمر الصناعي يربط بين نقطتين، و لكن المشكلة التقليدية هي بوضع قنوات فرعية بين النقطتين. ليتم استغلال القمر الصناعي بشكل فعّال يجب أن يربط بين عدّة نقاط، و في مجالات عدة يمتلك كل مستخدم الهوائي الخاص به مما يعني أن القمر الصناعي يتعامل مع عدد هائل من المستخدمين الموزعين على مساحات شاسعة من الكرة الأرضية.

أصبحت المشكلة على النحو التالي: كيف يمكن إنشاء قنوات فرعية للمستخدمين المنتشرين في أرجاء الأرض كافة وتوفير الخدمات المتنوعة والمتعددة لهم والتي تتغير باستمرار؟ تعرف هذه المشكلة بمشكلة تعدّد الوصول multiple access.

لتوضيح المشكلة بشكل أبسط، لنفرض أن هناك شركة تأمين ما، فيها 50 موظف كل منهم يحتاج لمكتب لينفذ مهامه عندما يكون في الشركة. الموظفون لا يتواجدوا دائما في الشركة كما انهم لا يتواجدوا جميعا فيها في نفس الوقت. و لذلك فإنّ في الشركة 20 مكتب فقط، وعند مجيء اي موظف فإنّه يستخدم اي مكتب غير مشغول.

كذلك الحال في مجال الاتصالات، فلو ان 100 شخص اشتركوا في خدمة الهواتف في مدينة ما، فإنّهم يستخدموا الهاتف كما يستخدم موظفي الشركة في المثال السابق مكاتبهم.فلا حاجة لتوفير 100 قناة اتصال يربطهم بمكتب التحويلات (البدّالة) المحلي، 20 قناة قد تكون كافية و يؤمن خط للاتصال من المكتب المحلي لأي مستخدم عند طلب إجراء مكالمة. تسمى هذه التقنية بالتركيز concentration.

وهناك فرق بين مفهوم التركيز و التجميع multiplexing. ففي مفهوم التجميع يتم توفير قناة لكل المستخدمين بشكل متزامن إذا رغبوا بذلك، ولكن في مفهوم التركيز فإنّ كان هناك 20 قناة فقط و قام المستخدم رقم 21 بطلب مكالمة فلن يتم الاستجابة لطلبه (يستقبل نغمة الخط المشغول).

في انظمة الأقمار الصناعية تبقى سعة النطاق محدودة، في الوقت الذي يزيد فيه الطلب على الخدمات المتعددة، لذلك كان لا بد من تقنيات للاستفادة من النطاق المحدود لخدمة أكبر عدد من المشتركين في الخدمات المتعددة، و تسمى طرق تعدّد الوصول.

الأساس في أي خط نقل أن نقرر التقنية المطلوبة: قياسية analogue ام رقمية digital، من الواضح ان التقنية الرقمية تستخدم في كل مكان الآن، و لكن عند الحديث عن النقل الإذاعي فإنّ الموجة الحاملة بطبيعتها قياسية، حاليا، الإشارات الرقمية مركّبة على إشارات حاملة قياسية، و انظمة التعديل الترددي FM ما زالت مستخدمة في أنحاء كثيرة من العالم خاصة في البث التلفزيوني، لكن سنركّز هنا على التقنيات الرقمية. يمكن المشاركة بناقل القمر الصناعي Transponder باكثر من طريقة، و أهم هذه الطرق:

1. تعدّد الوصول بالتقسيم الترددي
Frequency Division Multiple Access (FDMA)
2. تعدّد الوصول بالتقسيم الزمني
Time Division Multiple Access (TDMA)
3. تعدّد الوصول بالتقسيم التشفيري
Code Division Multiple Access (CDMA)
4. تعدّد الوصول بالتقسيم المكاني
Space Division Multiple Access(SDMA)

إنّ توزيع عرض النطاق للقمر الصناعي (حوالي 500MHz على C-Band) يمكن ان يقسّم إلى قنوات صوتية عديدة بإشارات مجمّعة تحتوي على قنوات صوتية بعرض نطاق أصغر، او سلسلة من النبضات الرقمية (stream of bits) تحتوي تركيبة من الصوت و بيانات بمعدّل نبضات متغيّر، هذان الخياران يقودانا إلى مصطلحي FDMA و TDMA.

1. تعدّد الوصول بالتقسيم الترددي:

Frequency Division Multiple Access (FDMA)

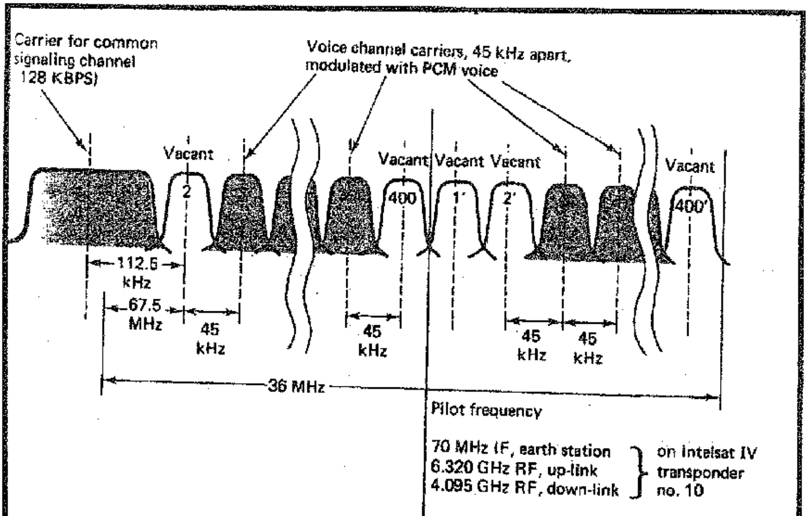
FDMA: انّ هذا الاختصار يوحي بتقنية قياسية، ربما لاحتوائه على جزء (FDM) و التي تشير إلى تقنية التجميع الترددي القياسية. قبل الثورة الرقمية كانت الأقمار الصناعية تستخدم إشارات FDM، و هي معدّلة ترددياً على حامل ضمن عرض النطاق المسموح. حالياً، FDMA تستخدم حزم النقل الرقمية.

بإستخدام FDMA يتم تقسيم نطاق القمر الصناعي إلى قطاعات ترددية أصغر. فتقوم المحطة الأرضية بالإرسال على واحد أو اكثر من هذه القطاعات الجزئية حيث يتمركز التردد الحامل في منتصف القطاع الجزئي و يعدّل بالقناة الصوتية. ان عرض النطاق المستخدم مع كل حامل يمثّل قياس بعدد القنوات الصوتية أو البيانات المحمولة. كحد ادنى يوجد قناة واحدة مع كل حامل (single channel per carry SCPC)، او يمكن ان يحتوي الحامل على عدد من القنوات الصوتية في صيغة سلسلة من النبضات مجمّعة زمنياً TDM. ميكانيكية التحكم تحول دون إستخدام التردد نفسه من قبل محطتين أرضيتين في الوقت نفسه، و كل محطة أرضية تعلم التردد الذي يجب ان تستخدمه في أي لحظة (ترسل عليه او تستقبله).

في انظمة FDMA تعمل اجهزة التعديل الداخلي في الناقل مع أعداد من الترددات الحاملة، مما يستوجب تخفيض القدرة الخارجة من المكبّر لضمان العمل في المنطقة الخطية تحت حد الإشباع، ويؤدي ذلك إلى تخفيض قدرة الإرسال وبالتالي تخفيض عدد القنوات المرسلة.

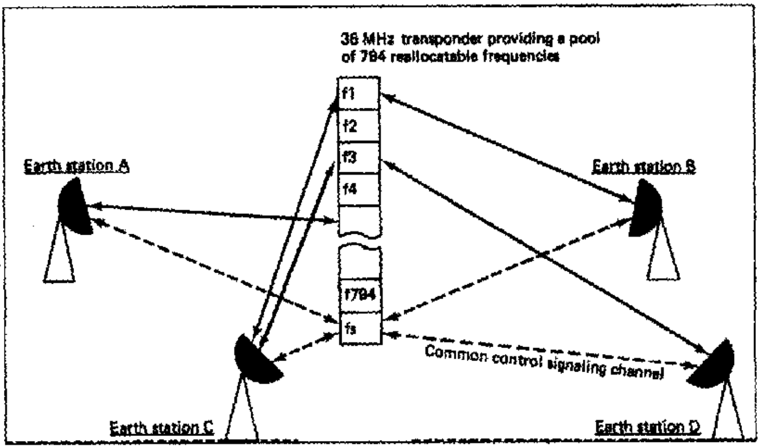
سابقاً كانت أنظمة SCPC تحتوي إشارات صوتية أو معلومات معدّلة تعديل نبضي PCM بمعدّل نبضات 64 kb/s محمّلة على حامل بتعديل 4PSK بعرض نطاق حوالي 38 KHz. و بفرق 45 KHz بين الحامل و الآخر كما موضّح في الشكل (2 – 12).

مع التطور في التقنيات الرقمية انخفض معدّل النبضات إلى نحو 1 kb/s . ان مستوى الجودة هي النقطة الأساسية للمقارنة هذه الأيام، حتّى بمعدّل 64 kb/s، وهو معدّل عالي نسبيا، فهي مستوية 3200 قناة لكل ناقل، ان هذا الرقم قابل للمضاعفة بتفعيل حامل الصوت، فخلال الفراغات في الحديث لا ينقل الحامل شيئا، تاركا فراغا في ناقل القمر الصناعي لحامل آخر.



شكل (2 – 12) الطيف الترددي لنظام SCPC

وعند تجميع عدد معيّن من هذه الترددات في نطاق أوسع يسمى ذلك بالتجميع الترددي frequency division multiplexing (FDM). والشكل (2 – 13) يوضّح كيفية تحميل القناة من كل محطة ارضية على تردد حامل محدّد (f1, f2, f3,..)، كما يتم تخصيص قناة للتحكم بحيث لا يحدث إستعمال للتردد اكثر من قبل أكثر من محطة واحدة في الوقت نفسه.



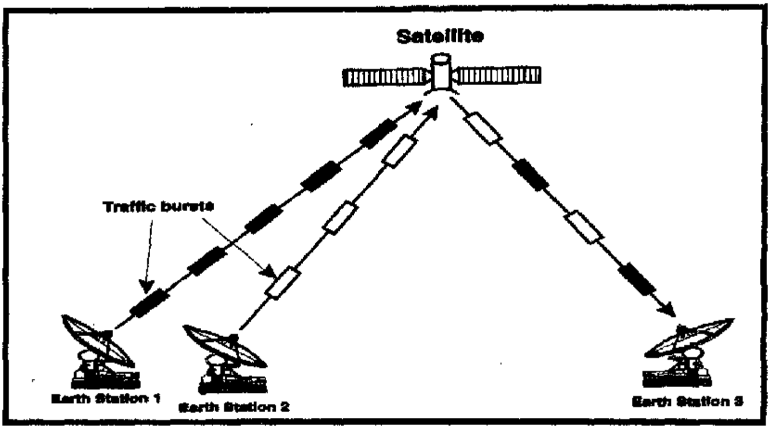
شكل(2 – 13) تحميل القناة من كل محطة أرضية على تردد حامل خاص

2. تعدّد الوصول بالتقسيم الزمني
Time Division Multiple Access (TDMA)

انظمة الأقمار الصناعية TDMA تتبع أسلوب مشابه للتعديل النبضي PCM، حيث تنقل المعلومات من مصادر مختلفة خلال فتات زمنية محدّدة. يبنى الإطار الزمني بالطريقة نفسها التي تضع بها كل محطة أرضية معلوماتها.

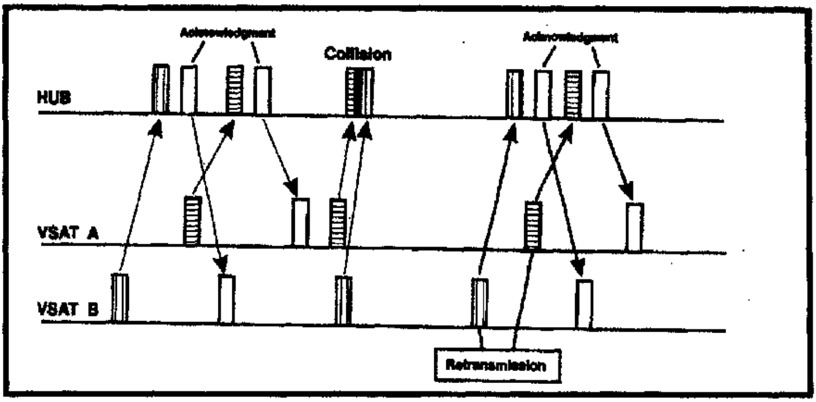
باستخدام تقنية TDMA فإنّ كل محطة أرضية يسمح لها بالإرسال سلسلة من البيانات الرقمية (bits) بسرعة عالية خلال فترة زمنية قصيرة (انظر الشكل (2- 14)). يتم التحكم بالفترات الزمنية للمحطات بعناية فائقة كي لا

تتداخل البيانات من المحطات المختلفة مع بعضها البعض، فالتزامن الحذر مطلوب لضمان عدم التداخل و التصادم بين المعلومات من المحطات المختلفة، وكما في PCM فإنّ هناك عدد محدّد من الشقوق الزمنية المتاحة، و بالتالي عدد محدّد من المحطات الأرضية القادرة على الإرسال، بالطبع، يعتمد هذا العدد على معدّل نبضات TDMA الكلي و عرض النطاق المحدّد للناقل، خلال فترة إرسال البيانات من محطة أرضية ما فإنّ عرض النطاق للقمر الصناعي يكون مخصص بالكامل لتلك المحطة.



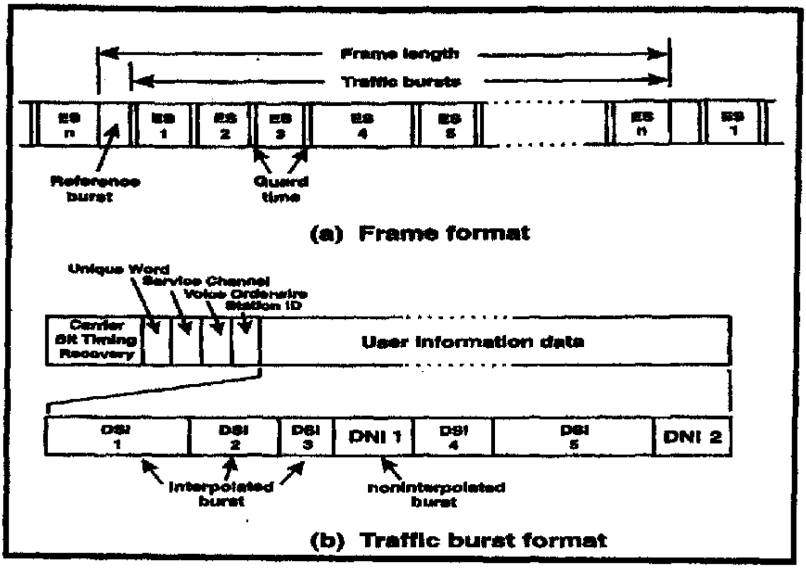
شكل(2 – 14) الاتصال بين القمر الصناعي والمحطات الأرضية في نظام TDMA

بالإضافة للتزامن synchronization في الإرسال، تتطلب تقنية TDMA تحكّم بالسرعة العالية للبيانات الرقمية المرسلة، فالمحطات الأرضية تفصلها عن القمر الصناعي مسافات مختلفة بإختلاف موقعها و بالتالي فإنّ زمن إنتشار الموجة يختلف من محطة إلى أخرى، والشكل (2 – 15) يوضّح كيف يمكن ان يحدث تداخل بين بيانات المحطات.



شكل(2 – 15) التداخل في المعلومات للمحطات المختلفة بسبب إختلاف التزامن

ولضمان عدم حدوث تداخل بين بيانات المحطات تترك فراغات زمنية بين الشقوق الزمنية تسمى قنوات الحماية (guard time) لتعالج أي إختلاف في التزامن للمحطات المرسلة، والشكل (2 – 16a) يوضّح تقسيم محور الزمن إلى فترات جزئية تقوم كل محطة بالإرسال خلال واحدة منها، كما يوضح فترات الحماية بين كل فترتي إرسال. فطول الإطار Frame length هو الفترة الزمنية الكاملة لأخذ البيانات من جميع المحطات المتصلة بالقمر، ان البيانات المرسلة من المستخدم تقسّم بدورها بالإضافة للمعلومة المرسلة (user information data) إلى بيانات أخرى للتعريف بقناة الخدمة (service channel) و تعريف بالمحطة (station ID) و غير ذلك كما هو موضّح في الشكل (2 – 16 b).



شكل(2 – 16) a) الإطار الزمني في نظام TDMA. b) الإطار الجزئي لسلسلة بيانات المستخدم

ان الفرق الأساسي بين TDMA و FDMA، ان جميع المحطات الأرضية في نظام TDMA تستخدم نفس التردد الحامل و لكن في فترات زمنية مختلفة. كما ان TDMA يتميّز عن FDMA بعدة نقاط، أهمها:

1. مشكلة التداخل بين الأقمار الصناعية بإستخدام TDMA اقل منها في حال إستخدام FDMA.
2. تقنية TDMA ذات مرونة عالية. فالقنوات المتباينة في السعة تتمكّن من إستخدامه.
3. بإستخدام FDMA لابد من التحكم بالحد الأقصى من قدرة المحطات الأرضية لتجنّب دخول القمر في حالة إشباع. مثل هذه المشكلة لا تظهر مع TDMA.

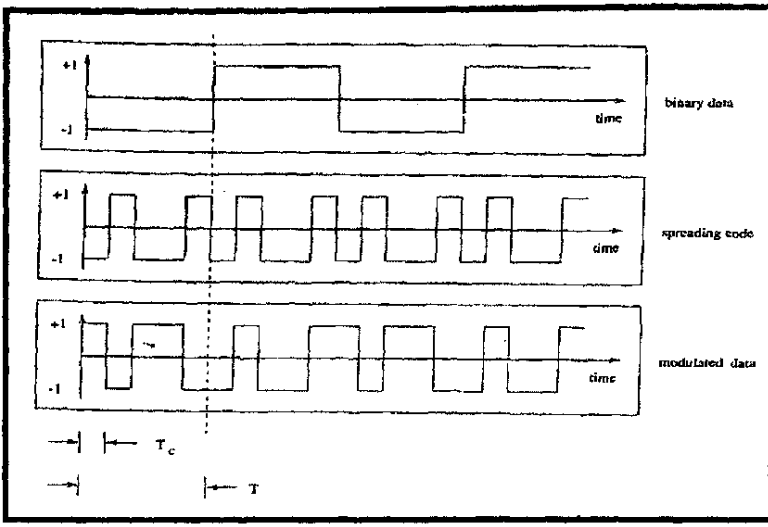
4. يعمل القمر الصناعي بقدرته الكاملة مع TDMA لعدم وجود مشكلة التداخل في الترددات الحاملة.

من جهة أخرى، تكلفة المحطات الأرضية البسيطة المستخدمة للتقسيم الترددي FDMA اقل من تكلفة المحطات المستخدمة للتقسيم الزمني TDMA.

3. تعدّد الوصول بالتقسيم التشفيري

Code Division Multiple Access (CDMA)

باستخدام تقنية التقسيم التشفيري يمكن للعديد من المحطات إرسال المعلومات في نفس الوقت و على نفس التردد و لكن بشفرة ثنائية خاصة مختلفة. و الشكل (2 – 17) يبيّن مثال على كيفية تكوين إشارة CDMA، فالجزء الأوّل تبيّن إشارة معلومات (binary data) مكونّة من سلسلة من النبضات (-1,+1,-1,+1). و الجزء الثاني تمثّل شفرة الإنتشار spreading code و التي ستشفّر كل نبضة من نبضات المعلومة بخمس نبضات متسلسلة (-1,+1,-1,-1,+1)، ويتم ذلك بضرب الإشارتين معاً فتنتج لدينا الموجة المعدّلة modulated signal المعدّة للنقل، وهكذا لو كان لدينا إشارة معلومات أخرى فسوف يتم تشفيرها بشفرة مختلفة عن التي إستخدمناها مع هذه الإشارة، ونلاحظ أن معدّل نبضات الشفرة أكبر من معدّل نبضات البيانات (في المثال كانت أكبر بخمس مرات).



شكل(2 – 17) الحصول على إشارة CDMA

ومن الجدير بالذكر إمكانية إستخدام أكثر من تقنية للوصول المتعدد مثل CDMA و TDMA معاً، انّ الحماسة الأولية في بداية التسعينات لتطوير السعة الكبيرة لأنظمة CDMA على TDMA باءت بالفشل، و يعود ذلك لأن إنتشار انظمة CDMA يتطلب ذلك التوقّع، وبينما وجدت انظمة CDMA اختراقا للأقمار الإستوائية GSO، فإنّ اقمار LEO وMEO التزمت بأنظمة CDMA، وهذا ليس بغريب، لأن مشغّلات الأنظمة الحاسوبية PCs والأنظمة الخلوية صمّمت CDMA للجيل القادم للأنظمة المتحركة، واقمار LEO وMEO معنيّة في المقام الأوّل بمستخدمي الأنظمة المتنقلة.

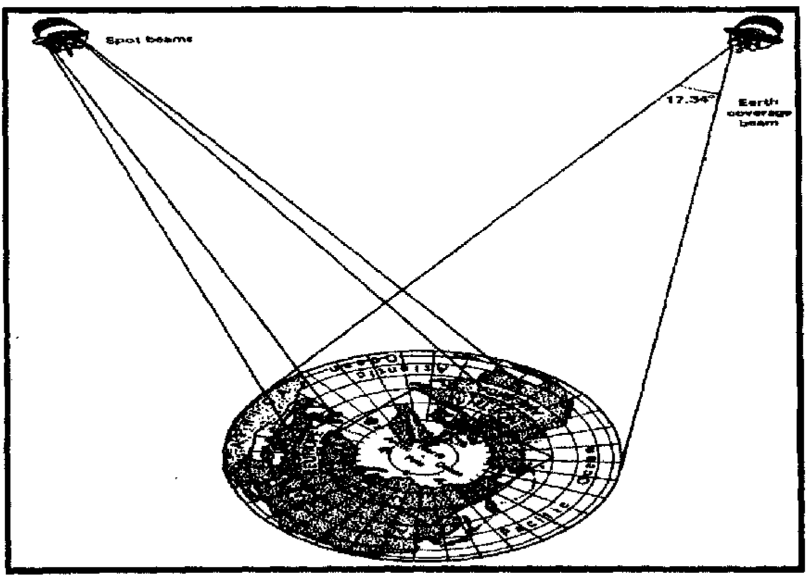
4. تعدّد الوصول بالتقسيم المكاني
Space Division Multiple Access (SDMA)

من الضروري في بعض الأحيان تركيز الطاقة المرسلة في حزمة ضيقة وتوجيهها مباشرة إلى منطقة صغيرة على الأرض عوضا عن مساحة شاسعة منها، والهوائيات المسئولة عن ذلك تسمى بهوائيات spot beam، إنّ لهذه الهوائيات كسب أعلى من غيرها من الهوائيات الأخرى.

يتضمّن التقسيم المكاني هنا أن يسلّط القمر الصناعي حزم إشعاعية spot beam متعـدّدة علـى المنطقـة الـتي يغطيهـا ويكـون لديـه القابليـة علـى التحويـل بـين هـذه الحـزم (انظـر الشكل 2 – 18)، يـستعمل مـصطلح "التبـديل في السماء switch in the sky" للأقمـار الـصناعية الـتي تـستطيع تحويـل الحـزم الإشعاعية (on & off) و تبديل القنوات بين الحزم.

ان للحزم الإشعاعية المتعددة مزايا عدة، أهمها:

1. إعادة إستخدام الترددات frequency reuse عدة مرات في مواقع مختلفة على الأرض.
2. يمكن زيادة عدد النواقل transponder بسبب إعادة إستخدام الترددات.
3. إشارة الحزمة الإشعاعية قابلة للتبديل من قمر صناعي إلى آخر.



شكل(2 – 18) مقارنة قمر GSO بقمر يسلّط حزم إشعاعية spot beams

البث التلفزيوني TV Broadcasting (للاطلاع):

إن البث التلفزيوني بالأقمار الصناعية عمل مزدهر. في الطرف الخاص بالاستقبال، كل مستخدم له هوائي طبقي (dish) وجهاز استقبال خاص به (receiver)، امّا الفنادق فتضع الهوائيات على السطح وتوزع القنوات للغرف، شركات الكوابل تستعمل البث من عدة اقمار وتجمع عدد كبير من القنوات لتوزّعها عبر الكوابل.

المستخدمين يستقبلون القنوات بمعدات بسيطة وبسعر معتدل (وينخفض كل يوم عن الآخر)، ويستلزم لعملية الاستقبال:

1. هوائي استقبال antenna.
2. محوّل هبوط ذو تشويش قليل (Low Noise Block LNB).
3. مستقبل اقمار صناعية Receiver.
4. تلفزيون TV.

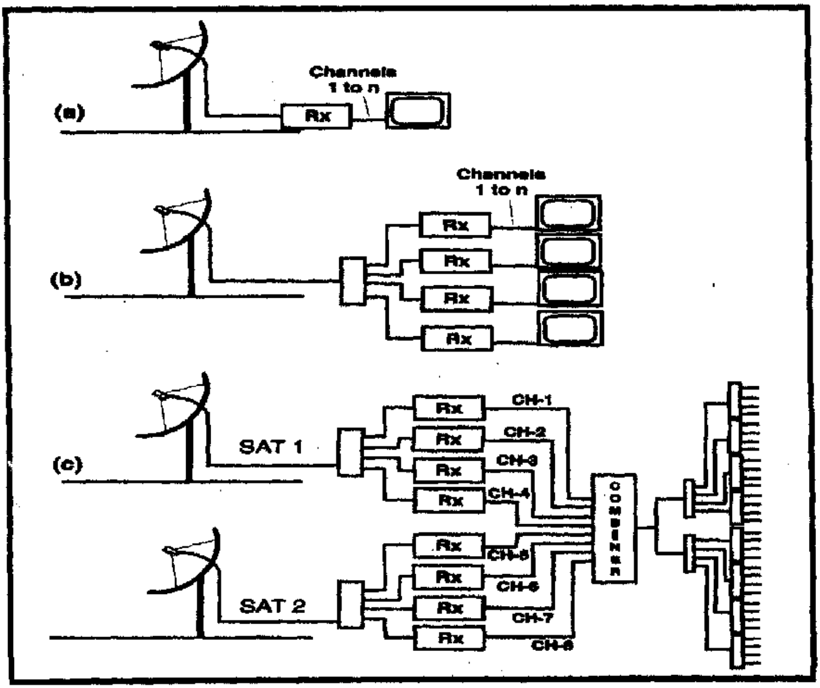
حجم الهوائي المستخدم يعتمد على كل من نطاق التردد المستخدم، درجة حرارة التشويش للـ LNB، معامل EIRP للستلايت و إرتفاع موقع جهاز الالتقاط. انظر الشكل (2 – 19a).

مثال على ذلك، قطر هوائيات C-Band النموذجية من 2.5m-2m في المناطق الإستوائية، و لكن بارتفاع اعلى (35^{o} او اكثر) نحتاج قطر اكبر من ذلك (حوالي 3-3.5m).

ان درجة حرارة تشويش LNB لهوائي 2m بدرجة 30 حوالي $25K^{o}$. و عند درجة $35K^{o}$ يظهر تأثير التشويش كالثلج على صورة TV، امّا بدرجة حرارة $45K^{o}$ تصبح الصورة غير واضحة على الشاشة.

نطاق Ku-Band ذو ترددات أعلى من نطاق C-Band، و بالتالي تستخدم أنظمتها هوائيات صغيرة بقطر 0.5-1m.

يمكن اشتراك 4 مستخدمين لنطاق C-Band بهوائي واحد بحيث يشاهد كل منهم القناة التي يرغب بها ، و ذلك باستخدام LNB ومجزا إشارة إلى أربع مسارات و محوّل ترددات متوسطة (من 950 – 1050MHz) لتغذية الريسيفرات Rx، (انظر الشكل (2 – 19b)، وإذا رغبوا بقنوات أكثر يمكن ربط هوائيين ومجزاين لأربع مسارات وثمانية مستقبلات (انظر الشكل (2 – 19c)، يمكن إستخدام نفس التقنية لتغذية مئات الغرف في الفنادق.



شكل(2 – 19) استقبال البث التلفزيوني

ملحق:

في ما يلي ملحق ببعض ترددات البث المرئي و الاذاعي لبعض الأقمار الصناعية:

1. القمر العربي عربسات (2D)°260 درجة شرقاً:

[illegible] الحزمة	نوع البث	البرامج [illegible] بثها	ترددات البث (ميغاهيرتز)			البرامج الإذاعية المصاحبة للقناة	الاستقطاب	مناطق التغطية
			صورة التلفزيون	صوت التلفزيون	صوت الإذاعة			
كي يو	تماثلي	البرنامج العام	11075	6.6	7.2	البرنامج العام المسموع	رأسي	الدول العربية واجزاء من الدول المجاورة

2. القمر العربي عربسات (3A)°260 درجة شرقاً:

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]			[illegible]	[illegible]	[illegible]
			صورة التلفزيون	الرمز النسبي	نسبة التصحيح الامامي			
كي يو	رقمي	القناة الفضائية	11747	27500	3/4		رأسي	الدول العربية واجزاء من الدول المجاورة

3. القمر الأوروبي (هوت بيرد) °130درجة شرقاً:

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]			[illegible]	[illegible]	[illegible]
كي يو	رقمي	القناة الفضائية	صورة التلفزيون	الرمز النسبي	نسبة التصحيح الامامي		أفقي	اوربا الغربية والشرقية واسيا الوسطى و الدول العربية وتركيا وايران وافغانستان
			12654	27500	3/4			

4. القمر انتلسات (7 – NSS) °338.5 درجة شرقاً:

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]			[illegible]	[illegible]	[illegible]
سي	رقمي	القناة الفضائية	صورة التلفزيون	الرمز النسبي	نسبة التصحيح الامامي		دائري ايمن	افريقيا
			4179	27500	7/8			

5. القمر نايلسات 70° درجة غرباً:

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]			[illegible]	[illegible]	[illegible]
كي يو	رقمي	القناة الفضائية	صورة التلفزيون	الرمز النسبي	نسبة التصحيح الامامي		عمودي	الدول العربية واجزاء من الدول المجاورة
			12226	27500	3/4			

6. القمر يوتلسات (TELESTR5) 97° درجة غرباً:

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]			[illegible]	[illegible]	[illegible]
كي يو	رقمي	القناة الفضائية	صورة التلفزيون	الرمز النسبي	نسبة التصحيح الامامي		افقي	الولايات المتحدة/ كندا /غرب الهند/جزرهاواي
			11874	22000	3/4			

7. القمر يوتلسات (AB3) °5 درجة غرباً:

الحزمة	نوع البث	البرامج التي يتم بثها	ترددات البث (ميجاهيرتز)			البرامج الإذاعية المصاحبة للقناة	الاستقطاب	مناطق التغطية
			صورة التلفزيون	الرمز النسبي	نسبة التصحيح الامامي			
سي	رقمي	قناة الجماهيرية الفضائية البرنامج المرئي العام قناة النادي الرياضية	4158.5	20329	3/2	البرنامج العام البرنامج المختلط صوت افريقيا القرآن الكريم	دائري ايمن	افريقيا الوطن العربي اوربا وجزء من اسيا

8. القمر هيسبا سات (1C) °30 درجة غرباً:

الحزمة	نوع البث	البرامج التي يتم بثها	ترددات البث (ميجاهيرتز)			البرامج الإذاعية المصاحبة للقناة	الاستقطاب	مناطق التغطية
			صورة التلفزيون	الرمز النسبي	نسبة التصحيح الامامي			
كي يو	رقمي	قناة الجماهيرية الفضائية	12132	27500	4/3	إذاعة الجماهيرية البرنامج العام	أفقي	امريكا الجنوبية

9. القمر آسيا سات (3S) 105.5 درجة شرقاً:

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]			[illegible]	[illegible]	[illegible]
سي	رقمي	قناة الجماهيرية الفضائية	صورة التلفزيون	الرمز النسبي	نسبة التصحيح الامامي	إذاعة الجماهيرية البرنامج العام	افقي	آسيا
			3880	27500	4/3			

اسئلة الوحدة الثانية:

1. امتاز الجيل الأول من الأقمار الصناعية بأنه:
أ. جيل نظام الخدمات الثابتة للأقمار الصناعية.
ب. نظام ذو قمر صناعي صغير الحجم.
ج. نظام ذو هوائيات إرسال واستقبال أرضية ثابتة وكبيرة الحجم.
د. جميع ما ذكر.

2. "الوصلة الصاعدة" مصطلح يطلق على:
أ. البيانات المرسلة من المحطة الأرضية الى القمر الصناعي.
ب. البيانات المرسلة من القمر الصناعي الى المحطة الأرضية.
ج. المحطة الأرضية المرسلة.
د. المحطة الأرضية المستقبلة.

3. واحدة مما يلي لا تمثل مصدر من مصادر التشويش في نظام الأقمار الصناعية:
أ. التشويش الناتج عن الطبقات الجوية العليا.
ب. التشويش الحراري.
ج. التشويش الفضائي.
د. التشويش الأيوني.

4. من مزايا نظام الاتصال بالأقمار الصناعية:
أ. جودة الاشارة.
ب. سعة الانتشار.
ج. عرض النطاق الواسع.
د. جميع ما ذكر.

5. من سيئات نظام القمر الصناعي الاستوائي:

أ. نسبة BER العالية.
ب. التأخير الزمني للاشارة.
ج. انكسار الموجات في الطبقات الجوية العالية.
د. جميع ما ذكر.

6. سرعة القمر الصناعي متزامنة مع سرعة الأرض في المدار:

أ. المداري.
ب. القطبي المنخفض.
ج. القطبي المتوسط.
د. البيضوي.

7. لتغطية الاتصال في الكرة الأرضية نحتاج:

أ. 3 اقمار توضع بفرق زاوية 120 درجة.
ب. 3 اقمار توضع بفرق زاوية 60 درجة.
ج. 6 اقمار توضع بفرق زاوية 120 درجة.
د. 6 اقمار توضع بفرق زاوية 90 درجة.

8. من مميزات الأقمار القطبية LEO و MEO بالنسبة للأقمار المدارية GSO:

أ. تؤمّن الأقمار الاحتياطية الخدمة في حال حدوث أي أعطال في الأقمار الأساسية.
ب. زاوية الإرتفاع أقل من نظيرتها لأقمار GSO.
ج. مدّة الربط مع القمر الواحد تكون كبيرة.
د. عدم الحاجة للتحكم الدقيق بالاتصال.

9. مصطلح "SCPC" يعني:

أ. تحميل قناة صوتية واحدة كحد ادنى مع كل حامل.

ب. تشفير البيانات المرسلة بشيفرات مختلفة و ارسالها بنفس الحامل.

ج. تعدد الوصول بالتقسيم المكاني.

د. غير ما ذكر.

10. واحدة مما يلي ليست من مزايا SCMA:

أ. إعادة إستخدام الترددات frequency reuse عدة مرات في مواقع مختلفة على الأرض.

ب. يمكن زيادة عدد النواقل transponder بسبب إعادة إستخدام الترددات.

ج. إشارة الحزمة الإشعاعية قابلة للتبديل من قمر صناعي إلى آخر.

د. صغر حجم القمر الصناعي مقارنة بالأقمار التي تستخدم TDMA و FDMA

الأسئلة المقالية:

1. ما هي الأجيال الثلاث للأقمار الصناعية؟ و ما سمة كل منها؟ و ما خدماتها؟
2. ما النواحي التي تشملها خدمات الأقمار الصناعية؟
3. ما المقصود ب:
   أ. الوصلة الصاعدة.
   ب. الوصلة النازلة.
4. ارسم المخطط الصندوقي لكل مما يلي:
   أ. الوصلة الصاعدة.
   ب. الوصلة النازلة.
   ج. الجزء الفضائي.
5. ما المقصود بالمكبر LNA؟
6. ما مصادر للتشويش في أنظمة الأقمار الصناعية؟
7. ما مزايا الاتصال بالأقمار الصناعية؟
8. ما السيئة في إستخدام الأقمار الصناعية المدارية؟
9. ما العلاقة بين التردد المستخدم و الخصائص الفيزيائية للهوائي؟
10. ما الامور الواجب مراعاتها عند اختيار تردد للإستخدام في الأقمار الصناعية؟
11. ما العلاقة بين التردد المستخدم و عرض الشعاع؟
12. ما العلاقة بين التردد المستخدم و توهين المطر؟
13. ما المناطق التي قسم اليها العالم من قبل الاتحاد العالمي للاتصالات؟
14. ما نطاق الترددات المستخدمة في أنظمة الأقمار الصناعية؟
15. ما المدى الترددي للوصلة الصاعدة و الوصلة النازلة للنطاقات التالية:

A. C-Band
B. Ku-Band
C. K-Band

16. ما مصادر التشويش في نظام الاقمار الصناعية؟
17. ما العلاقة التي تزيد من قيمة التشويش في نظام الأقمار الصناعية؟
18. عدّد مدارات الأقمار الصناعية.
19. اذا وضع قمر صناعي على ارتفاع 2000 Km فما الفترة الزمنية اللازمة لينجز دورة كاملة؟
20. ما ارتفاع قمر صناعي لينجز دورة كاملة في فترة 3 ساعات؟
21. ما مميزات و سيئات نظام المدار المتزامن مع دوران الأرض؟
22. ما تعريف زاوية الارتفاع؟
23. ما مميزات و سيئات نظام المدار متوسط الارتفاع؟
24. قارن بين أقمار المدارات القطبية و المدارية و البيضاوية.
25. ما تاثير دوبلر؟
26. ما هي طرق تعدّد الوصول المستخدمة في أنظمة الأقمار الصناعية؟
27. ما مبدأ كل مما يلي:

1. تعدّد الوصول بالتقسيم الترددي
Frequency Division Multiple Access (FDMA)
2. تعدّد الوصول بالتقسيم الزمني
Time Division Multiple Access (TDMA)
3. تعدّد الوصول بالتقسيم التشفيري
Code Division Multiple Access (CDMA)
4. تعدّد الوصول بالتقسيم المكاني
Space Division Multiple Access(SDMA)

28. ما المقصود بنظام SCPC.
29. بما يتميز TDMA عن FDMA؟
30. ما مزايا SDMA؟

المصطلحات العلمية المستخدمة

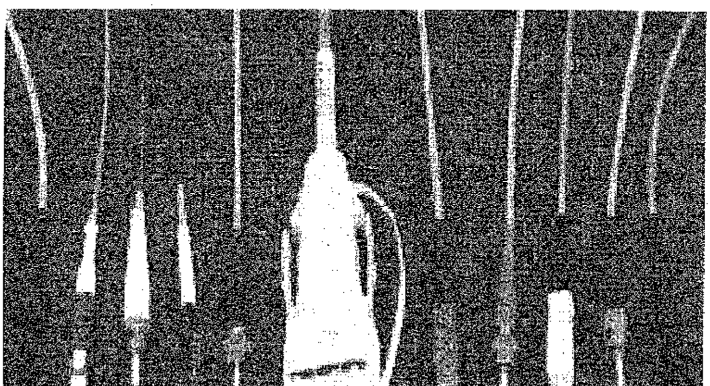
المصطلح بالعربية	المصطلح بالإنجليزية	الاختصار
الإنتشار بخط النظر	Line of Sight	LOS
هوائيات أرضية صغيرة	Very Small Aperture Terminal	VSAT
المعالجة الرقمية للموجة	Digital Signal Processing	DSP
الاتصالات المتنقلة	Mobile Satellite Services	MSS
البث الإذاعي والتلفزيوني والمعلوماتية	Broadcasting Satellite Services	BSS
الخدمات الثابتة للأقمار الصناعية	Fixed Satellite Services	FSS
الرصد الجوي	Meteorological Satellite Services	Meteo SS
الملاحة الجوية والبحرية	Navigator Satellite Services	NSS
تردد راديوي	Radio Frequency	RF
مكبر قدرة عالية	High Power Amplifier	HPA
التعديل الترددي	Frequency Modulation	FM
الإزاحة الطورية	Phase Shift Keying	PSK
التعديل السعوي الرباعي	Quadrate Amplitude Modulation	QAM
مصفى تمرير حزمة ترددية	Band pass Filter	BPF
الترددات المتوسطة	Intermediate Frequency	IF
مكبر الموجة بالتشويش المنخفض	Low Noise Amplifier	LNA

ISL	Inter Satellite Link	وصلة داخلية للقمر الصناعي
ITU	International Telecommunication Union	الاتحاد العالمي للاتصالات
SHF	Super High Frequency	الترددات الفائقة
EHF	Extremely High Frequencies	الترددات القصوى
GSO	Geostationary Earth Orbit	المدار المتزامن مع دوران الأرض
LEO	Low Earth Orbit	المدار المنخفض
MEO	Medium Earth Orbit	المدار متوسط الإرتفاع
EEO	Elliptical Earth Orbit	المدار البيضاوي
FDMA	Frequency Division Multiply Access	تعدد الوصول بالتقسيم الترددي
TDMA	Time Division Multiply Access	تعدد الوصول بالتقسيم الزمني
CDMA	Code Division Multiply Access	تعدد الوصول بالتقسيم التشفيري
SDMA	Space Division Multiply Access	تعدد الوصول بالتقسيم المكاني
FDM	Frequency Division Multiplexing	التجميع بالتقسيم الترددي
TDM	Time Division Multiplexing	التجميع بالتقسيم الزمني
SCPC	Single Channel Per Carry	قناة واحدة لكل حامل
LNB	Low Noise Block	محوّل هبوط ذو تشويش قليل

الوحدة الثالثة

نظام الاتصال بالألياف الضوئية

Fiber Optical Communication System



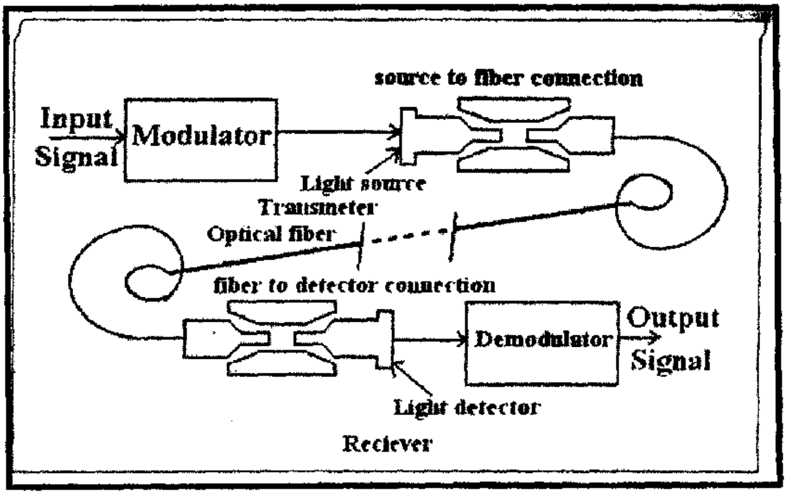
نظام الاتصال بالألياف الضوئية
Fiber Optical Communication System

1. مقدمة:

شهدت ثورة الاتصالات الإلكترونية تغيرات جديرة بالملاحظة. تزايدت الحاجة إلى أنظمة ذات سعة كبيرة، إنّ أنظمة الاتصالات التي تستخدم الضوء كحامل للمعلومة carrier باتت تستقطب انتباه شديدا، إنّ انتشار الأشعة الضوئية خلال الغلاف الجوي للأرض أمر صعب و غير عملي، بناءا على ذلك، إنتشرت الأبحاث لإرسال الموجات الضوئية عبر الألياف الزجاجية و البلاستيكية، وتسمى انظمة الاتصالات التي تقوم بذلك بأنظمة الاتصالات بالألياف البصرية. حيث يتم صنع هذه الألياف البصرية غالبا من مادة السيليكا (Silica) (مادة ثاني اكسيد السيليكون SiO_2) التي يصنع منها الزجاج. فتتم إضافة مواد معينة (مثل الجرمانيوم) وبنسب محدّدة إلى الزجاج ليتم الحصول على معامل انكسار معيّن.

تتناسب سعة نظام الاتصالات على حمل المعلومات تناسبا طرديا مباشر مع عرض النطاق، فكلما زاد عرض النطاق زادت سعة النظام لحمل المعلومات، ولأغراض المقارنة يتم التعبير عن عرض النطاق كنسبة مئوية من التردد الحامل. مثلا، تعمل الأنظمة الراديوية VHF على تردد 100 MHz بعرض نطاق 10 MHz (أي 10% من التردد الحامل)، امّا في انظمة الراديو الميكروية تعمل على تردد 6GHz بعرض نطاق يساوي 10% من التردد الحامل يجب أن يكون عرض نطاقها 600MHz، أي أنّه كلما زاد التردد الحامل زاد عرض النطاق المستخدم، والترددات الضوئية المستخدمة في الألياف الضوئية تتراوح بين 10^{14} Hz إلى $4*10^{14}$ Hz ، وبالتالي فإنّ 10% من هذا الرقم يساوي 10^{13}Hz، و هو عرض نطاق واسع يلبّي الاحتياجات المتزايدة في عالم الاتصالات.

والشكل (3 – 1) يوضّح مكونات نظام الاتصال بالألياف البصرية البسيط.



شكل (3 – 1) نظام اتصال بسيط بالألياف البصرية

يتم تعديل إشارة المعلومات المتمثّلة بحزمة من الأشعة الضوئية، حيث يستخدم الضوء كناقل للمعلومة (carrier) و تنقل عبر الليف البصري لبعض أمتار أو عدة أميال، والكيبل البصري قد يحتوي ليف بصري واحد رفيع كالشعرة أو يحتوي حزمة صغيرة تضم مئات الألياف البصرية سوية.

مصدر الإشعاع المرئي أو غير المرئي (infrared) عادة ما يكون ديود باعث للضوء LED او الليزر، و الذي يمكن أن يعدّل لنقل المعلومات الرقمية أو التناظرية على الشعاع الضوئي، من جهة أخرى فإنّ الكاشف الضوئي يعمل على إعادة تحويل الإشارة الضوئية إلى إشارة كهربائية مرة أخرى عند جهة الاستقبال.

إن الروابط connectors تعمل على ربط الليف بالمصدر الضوئي أو عند ربط الليف بالكاشف الضوئي، و قد يحدث خسارة عند هذه الروابط عند حدوث انزلاق للوصلات.

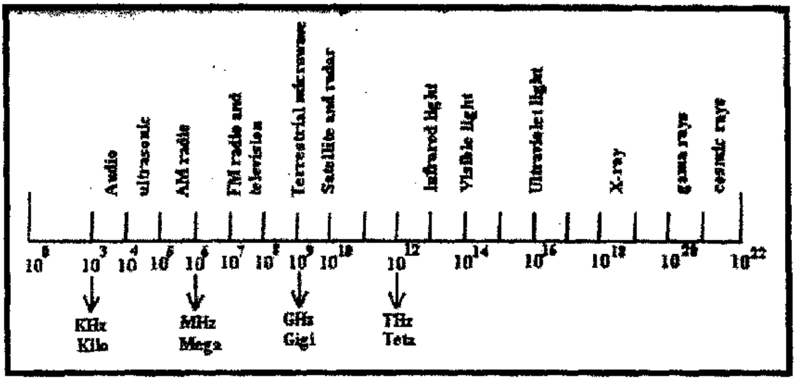
موجّه الموجة البصرية optical wave guide يوجّه الضوء لينتشر في الليف بأسلوب مماثل موجّهات الإشارة المعدنية المعتادة، ينتشر الضوء في الليف بانعكاسه باستمرار عن جدران الليف. فانتشار الضوء ينتج من ظاهرة الانعكاس الداخلي التام total internal reflection.

نستطيع فهم مبدأ عمل الضوء إمّا باعتباره خط أو شعاع و بالتالي يخضع لقوانين علم البصريات (انعكاس و انكسار و غيرها)، كما يمكن اعتبار الضوء كحزمة من الفوتونات تخضع لنظرية الكم Quantum theory، كما ويمكن فهم عمل الضوء على أنّه موجة كهرومغناطيسية ويحلّل وفق نظرية الأمواج.

ولا بد لنا من الحديث عن الطيف الترددي للموجات الكهرومغناطيسية والموضّحة في الشكل (3 – 2)، من الملاحظ أن طيف الترددات يمتدّ من الترددات دون الصوتية subsonic إلى الأشعة الكونية cosmic rays (10^{22} Hz)، ويمتد نطاق الترددات البصرية من حوالي 10^{12} Hz والى حوالي 10^{16} Hz. ويقسّم طيف الترددات الضوئية إلى ثلاث نطاقات عامّة، هي:

1. تحت الحمراء Infrared : و هي الأشعة الضوئية ذات الطول الموجي الطويل بحيث لا تتمكّن العين البشرية من ملاحظته.
2. المرئية visible (بين الحمراء و البنفسجية): و هي الأشعة الضوئية ذات الأطوال الموجية التي تستطيع العين البشرية ملاحظتها.
3. فوق البنفسجية Ultraviolet: و هي الأشعة الضوئية ذات الطول الموجي القصير بحيث لا تتمكّن العين البشرية من ملاحظته.

كذلك من الشكل (3 – 2) نميّز مجال الترددات السينية (X-rays) وترددها حوالي 10^{20} Hz، و نميّز مجال ترددات اشعة جاما (Gamma-Rays) بتردد حوالي 10^{20} Hz.



شكل (3 – 2) الطيف الترددي للموجات الكهرومغناطيسية

عند التعامل مع الأشعة الكهرومغناطيسية ذات الترددات العالية، مثل الضوء، من الشائع استخدام وحدة الطول الموجي عوضا عن استخدام وحدة التردد، والطول الموجي هو طول دورة واحدة من الموجة الكهرومغناطيسية التي تشغله في الفراغ. و يعطى طول الموجة بالعلاقة الرياضية التالية:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ: طول الموجة، بالمتر.

c: سرعة الضوء في الفراغ، و يساوي $3*10^8$ m/s

f: التردد، بوحدة الهرتز.

والاطوال الموجية التي تتعامل معها الألياف الزجاجية هي λ=850 nm, (λ=1310 nm,, λ=1550 nm)، وتعمل الأليا ف البصرية البلاستيكية على الطول الموجي λ=650 nm.

والجدول (3 – 1) يبيّن الاطوال الموجية و الترددات للألوان الرئيسية للون الأبيض.

جدول (3 – 1) الأطوال الموجية للألوان الرئيسية

اللون	التردد (Hz)	الطول الموجي (nm)
بنفسجي	6.59×10^{14}	455
ازرق	5.45×10^{14}	490
اخضر	5.17×10^{14}	550
اصفر	4.83×10^{14}	580
برتقالي	4×10^{14}	620
احمر	3.75×10^{14}	750

مثال: جد الطول الموجي لموجة ترددها:

1. 10^{14} Hz
2. 10^{4} GHz

الحل:

1. بالتطبيق المباشر في العلاقة السابقة نحصل على الطول الموجي للموجة:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$= \frac{3\times10^{8}}{10^{14}} = 3\times10^{-6}\,m = 3\mu m$$

2. بعد تحويل الوحدة إلى الهرتز نستطيع الحصول على الطول الموجي للموجة:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$= \frac{3\times10^{8}}{10^{4}\times10^{9}} = 3\times10^{-5}\,m = 30\mu m$$

نلاحظ من هذا المثال العلاقة العكسية بين التردد و الطول الموجي، فكلّما زاد التردد قلّ الطول الموجي و العكس صحيح.

مقدمة تاريخية لتطوّر نظام الاتصال بالألياف البصرية:

صمّم العالم الكسندر جراهام بيل الهاتف الضوئي (photo phone) في العام 1880، و الذي استخدم لغرض نقل الصوت عبر الضوء. و بعد اختراع الليزر عام 1958 تمّ استخدامه في إرسال الضوء عبر الفراغ، الأمر الذي تطلّب عدم وجود عوائق على خط النظر.

كانت أول محاولة لإرسال الضوء عبر الألياف الزجاجية بمعدّل توهين أقل من 20dB/Km في العام 1970. و توالت التجارب في السبعينات في شركة (Corning Inc) التي عملت على إنتاج كيبلات بصرية و تسويقها تجاريا.

يمكن تمييز ثلاث مراحل لتطور تصنيع الألياف البصرية، عرفت المرحلة الأولى بالنافذة الأولى (First Window) التي كانت تعمل على الطول الموجي 850 nm و بمعدّل توهين 3dB/Km. أمّا النافذة الثانية (Second Window) فتعمل على الطول الموجي 1300 nm وبمعدّل توهين 0.5dB/Km فقط، وجاءت النافذة الثالثة (Third Window) في نهاية العام 1977، حيث استخدم الطول الموجي 1550 nm و صنّعت الياف بصرية بمعدّل توهين حوالي 0.2 dB/Km والذي يعدّ، من الناحية النظرية، أقل معدّل خسارة في الليف البصري، في الوقت الحالي تستخدم جميع الأطوال الموجية المذكورة في معظم دول العالم.

قامت القوات المسلحة الأمريكية باستخدام الكوابل البصرية لنقل المكالمات الهاتفية، و تبعها مشروع القوات الجوية للألياف البصرية في عام 1976. قامت كل من شركتي AT&T و GTE بتصميم أنظمة اتصال بصرية في شيكاغو و بوسطن. كما قامت شركة Bell في الولايات المتحدة الأمريكية بتركيب نظام اتصال بصري بطول أكثر من 600 ميل.

لقد قامت شركة Bell في العام 1990 باستخدام تقنية تقسيم الطول الموجي WDM مستخدمة المكبرات الضوئية من نوع EDFA بمعدّل إرسال بيانات 2.5Gbit/s دون الحاجة لاستخدام المعيدات بالرغم من طول المسافة 7500Km. و باستخدام نفس التقنية (WDM)، تم في عام 1998 إرسال 100 قناة اتصال عبر ليف واحد و بمعدّل 10Gbit/s لكل قناة و التي امتدت لمسافة 400 Km.

2. حسنات نظام الاتصال عبر الألياف الضوئية:

لأنظمة الاتصال عبر كوابل الألياف الزجاجية او البلاستيكية مميزات تجعله يتفّق بمراحل على مميزات الاتصال بالكوابل المحورية أو غيرها. و هي:

1. سعة الإرسال الكبيرة Large Transmission Capacity:

لأنظمة الألياف الضوئية طاقة استيعابية عالية للمعلومات، و يعود ذلك لعرض النطاق الكبير المتوفر للترددات البصرية العالية جدا (حوالي 10^{14} Hz). ولذلك يمكن إرسال معلومات كثيرة جدا من خلال أنظمة الاتصالات البصرية. من جهة أخرى فان الكوابل المعدنية، التي تمثّل دائرتها المكافئة بملف و مكثف، فإنها تعمل كمصفى لتمرير الترددات المنخفضة LPF و بالتالي تحدّد الترددات و عرض النطاق المستخدمين معها.

2. المناعة ضد تداخل الإشارات Immunity to Cross Talk:

انظمة الألياف الضوئية محصّنة من تداخل الإشارات cross talk بين الكوابل الناتج عن الحث المغناطيسي. فالزجاج و البلاستيك مواد غير موصّلة للكهرباء، على عكس الكوابل المعدنية، و لذلك لا يصاحبها أي مجال مغناطيسي. تجعل هذه الميزة الألياف البصرية ملائمة للتطبيقات في المناطق ذات المجالات الكهرومغناطيسية العالية و القريبة من خطوط الضغط العالي.

3. المناعة ضد التشويش الساكن Immunity to static interface:

للألياف الضوئية مناعة من التشويش الساكن الناتج من المحرّكات الكهربائية، الأضواء المستشعة (الفلورسنت) أو أي مصادر تشويش كهربائية أخرى. يرجع ذلك إلى خاصية عدم التوصيل الكهربائي للألياف البصرية.

كما أنّ الكوابل البصرية لا تشعّ الطاقة الراديوية RF، و لذلك فهي لا تتداخل مع أيّ انظمة اتصالات أخرى مجاورة لها. إنّ هذه الخاصية تجعل الألياف البصرية ملائمة للتطبيقات العسكرية، حيث أنّ للأسلحة النووية تأثير مدمّر على أنظمة الاتصالات التقليدية.

4. مقاومة التغير في الظروف المحيطة:

للكوابل البصرية مقاومة عالية للتفاوت الشديد في الظروف المحيطة، فلا يتأثر عملها بالتفاوت الشديد في درجات الحرارة (ازديادها أو انخفاضها)، على عكس الكوابل الفلزية التي تتأثر بذلك و تعاني من تآكل المعدن عند تعرضها للسوائل أو الغازات.

5. سهولة و أمان التركيب و الصيانة:

أنظمة الألياف البصرية أكثر أمانا و سهولة من حيث التركيب أو الصيانة، إنّ الألياف البصرية غير موصّلة للكهرباء و لذلك لا يوجد أي تيار كهربائي ساري فيها، فلا خوف من حدوث صدمة كهربائية لمركّب النظام أو عند حدوث قطع ما. فيمكن استخدام الألياف البصرية في أماكن تحتوي على السوائل أو الغازات المتطايرة دون القلق.

ولكن يبقى الخطر الوحيد في جهة الإرسال بسبب الليزر، خاصة إذا كان الإرسال بقدرة عالية.

6. صغر الحجم و الوزن و سهولة التخزين:

عند مقارنة الألياف الضوئية أو الكوابل المحيطة بها بالأنواع الأخرى، نجد أنّها أصغر حجما و اقل وزنا من غيرها (قطر الليف 125 μm). كما أنها تحتاج مساحة أقل للتخزين و تكلفة اقل للنقل. ساعدت هذه الخاصية على استخدام الألياف البصرية في الطائرات و السفن و الأقمار الصناعية.

7. الأمان و السرية العالية Security:

تتمتّع الكوابل البصرية بسريّة أعلى من غيرها من الكوابل. عمليا، من المستحيل أن يتمكّن أحد من الولوج إلى الكيبل البصري دون معرفة المستخدم. ترجع هذه السرية إلى تقنية نقل المعلومات بالكيبل الضوئي و التي تعتمد على الانعكاس الداخلي للضوء داخل الليف. و على عكس خطوط النقل الكهربائية، لا يمكن سحب خط على التوازي.

هذه خاصية أخرى سبّبت استخدام الألياف البصرية في التطبيقات العسكرية و التطبيقات التي تحتاج المحافظة على سريّة المعلومات كالبنوك و المراكز المهمّة.

8. التوهين القليل للإشارة Lower signal Attenuation:

إنّ توهين الإشارة عبر الألياف الضوئية اقل من التوهين لأي من أنظمة الانتشار الأخرى (اقل من 0.2 dB/Km على الطول الموجي 1550 nm =λ). مكّنت هذه الميزة من مدّ الشبكات لمسافات طويلة بجودة عالية و تكلفة قليلة.

9. حفظ مصادر الأرض Conservation of earth resources:

تصنّع الألياف البصرية من الزجاج الذي يصنّع من السيليكات المستخرجة من الرمل. و هو متوفر بكميات هائلة في جميع أنحاء الأرض. على عكس الألياف المعدنية التي يدخل النحاس في تصنيعها، مما يؤدي إلى ارتفاع سعره بشكل كبير (بسبب تناقصه في الطبيعة)

10. توسعة إمكانيات النظام بسهولة Expansion System Capacity:

لا يستلزم زيادة الطاقة الاستيعابية لنظام اتصالات بصرية استبدال الكيبل الأصلي للنظام أو إضافة خطوط جديدة. يمكن تحقيق التوسعة باستبدال بعض المكونات الأساسية، كمصدر الضوء في جهة الإرسال أو الكاشف الضوئي في جهة الاستقبال. كما زيادة الطاقة الاستيعابية للنظام باستخدام تجميع القنوات بالتقسيم الموجي WDM .

11.التكلفة المنخفضة Low Cost:

ان النطاق الترددي الكبير و التوهين القليل يؤديان إلى زيادة المسافة بين محطات التقوية و بالتالي تخفيض عددها في الإجمال، و نتيجة ذلك تقل التكلفة المطلوبة للنظام للصيانة و التشغيل و المراقبة.

12.العمر الافتراضي الطويل Long life:

ان العمر الافتراضي لتشغيل الألياف البصرية أطول من مثيله للألياف النحاسية، و يرجع ذلك إلى العوامل التي تؤثر على الكيبلات النحاسية من صدأ و تآكل وغيره، وتقدّر مدة تشغيل الألياف الضوئية (20 – 30) سنة، بينما تقدّر مدة تشغيل الكيبلات النحاسية (12 – 15) سنة.

13.المرونة العالية flexibility:

إنّ البنية الفيزيائية للألياف البصرية تجعلها مرنة الاستخدام من عدة نواحي، منها الحمل و النقل و التخزين و التركيب و غيرها. حيث تمتاز الألياف البصرية بالمتانة والصلابة وقوة الاحتمال العالي، بالإضافة إلى صغر الحجم وخفة الوزن وصغر نصف قطر الانحناء.

14.جودة إشارة المعلومات Quality Transmission:

من النقاط السابقة، وجدنا أنّ الألياف الضوئية تتمتع بمناعة للتداخل بين الخطوط والمجال المغناطيسي، وعدم تأثرها بالعوامل الجوية القاسية وغيرها من المقوّمات التي تجعل الفقد الناتج في النظام قليل مقارنة بأنظمة الاتصالات الأخرى سواء السلكية منها أو اللاسلكية، ففي الأنظمة الرقمية نجد عند المقارنة بين الأنظمة المختلفة أنّ معدّل الخطأ في البتتات Bit Error Rate (BER) للألياف البصرية هو الأقل:

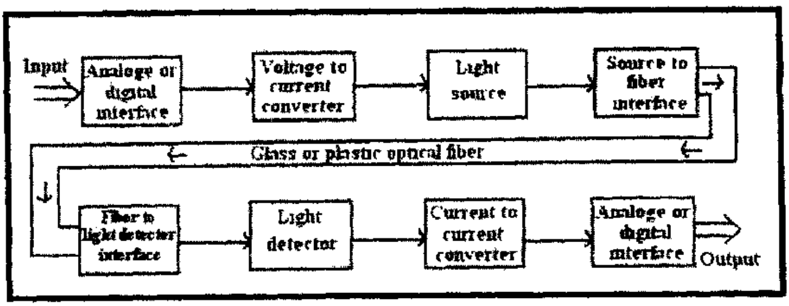
$BER=10^{-4}$ في انظمة الميكروويف و الكيبلات المحورية

$BER=10^{-8}$ في انظمة الأقمار الصناعية

$BER=10^{-9}$ في انظمة الاتصالات البصرية

3. تفصيل النظام و المخطط الصندوقي:

الشكل (3 – 3) يوضّح مخطط صندوقي عام بسيط لنظام الاتصالات البصرية، إنّ مكونات البناء الأساسية لهذا النظام، كباقي انظمة الاتصالات الأخرى، هي المرسل Transmitter، المستقبل Receiver، الوسط الناقل الممثّل هنا بالليف الضوئي fiber guide.



شكل (3 – 3) مخطط صندوقي عام بسيط لنظام الاتصالات البصرية

1. المرسل **Transmitter**: تتكوّن جهة الإرسال من المكونات التالية:

أ. واجهة ربط قياسية او رقمية **analogue or digital interface**: يتمّ تعديل المصدر الضوئي بإشارة قياسية او رقمية، للتعديل القياسي، يجب أن تتوافق واجهة الربط مع ممانعة و اتساع الإشارة الداخلة. امّا في التعديل الرقمي، قد تكون إشارة المعلومات الأصلية قياسية، فلا بد في هذه الحالة من تحويلها إلى سلسلة من النبضات الرقمية. و لتحقيق ذلك يجب أن تتضمن واجهة الربط محوّل إشارة قياسية إلى رقمية analogue to digital converter (ADC).

ب. **محوّل جهد إلى تيار voltage to current converter** : يستخدم هذا المحوّل كواجهة ربط كهربائية بين الإشارة الداخلة و المصدر الضوئي. فيحوّل جهد الإشارة الداخلة إلى تيار مكافئ لتحديد كمية الضوء من المصدر الضوئي.

ج. **مصدر ضوئي light source** : المصدر الضوئي عبارة عن وصلة ثنائية باعثة للضوء Light Emitted Diode (LED)، أو وصلة حقن ليزر Injection Laser Diode (ILD). إنّ كمية الضوء المنبعثة في كلتا الحالتين تتناسب طرديا مع كمية التيار الداخل إلى المصدر. و لذلك يتم استخدام محوّل الجهد إلى تيار. و سنتعرّف خلال هذه الوحدة على أنواع المصادر الضوئية بالتفصيل.

د. **وصلة بين المصدر والليف الضوئي source to fiber light coupler**: هذه الوصلة ميكانيكية (كالعدسة lens)، وظيفتها ربط الضوء المنبعث من المصدر إلى داخل كيبل الليف الضوئي.

2. الموجّه الضوئي fiber guide:

يتكوّن الليف الضوئي من لب مصنوع من مادة الزجاج النقي ultra pure glass أو من مادة البلاستيك plastic مكسو بكيبل حامي من البلاستيك. وسنتعرّف خلال هذه الوحدة على أنواع الألياف الضوئية بالتفصيل.

3. المستقبل Receiver: تتكوّن جهة الاستقبال من المكونات التالية:

ه. جهاز الربط بين الليف و الكاشف الضوئي fiber to light detector coupling device : هو رابط ميكانيكي، وظيفته ربط أكبر قدر ممكن من كمية الضوء في الكيبل الضوئي إلى الكاشف الضوئي.

و. كاشف ضوئي photo detector : الكاشف الضوئي عبارة عن وصلة (PIN) أو (APD). و يعمل الكاشف على تحويل الطاقة الضوئية

المنبعثة إلى تيار، و تعتمد شدّة التيار طرديا على الطاقة الضوئية الداخلة إلى الكاشف. و لذلك يتم استخدام محوّل تيار إلى جهد في المرحلة التالية للكاشف. و سنتعرّف خلال هذه الوحدة على أنواع المصادر الضوئية بالتفصيل.

ز. محوّل تيار إلى جهد current to voltage converter: يقوم بتحويل التيار الخارج من الكاشف الضوئي إلى إشارة جهد خارجة.

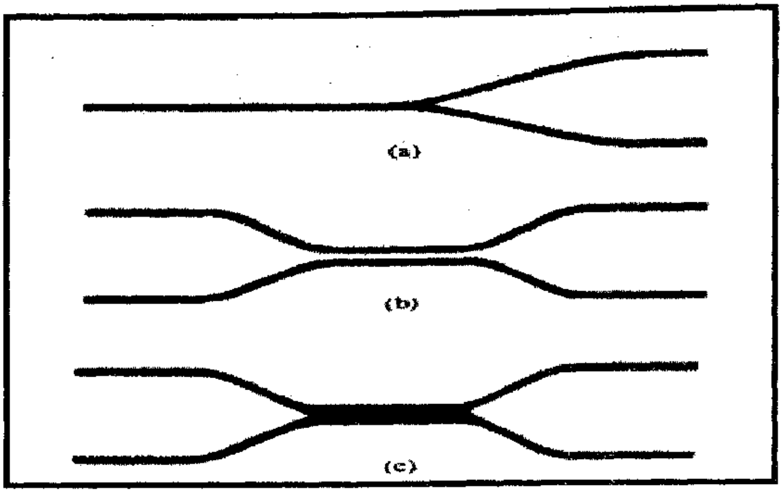
ح. مكبّر amplifier: وظيفته: تكبير الإشارة الخارجة من المحوّل.

ط. واجهة ربط قياسية او رقمية analogue or digital interface: كما واجهة الربط في المرسل، إنّ واجهة الربط القياسية أو الرقمية في المستقبل هي واجهة كهربائية. إذا كان التعديل المستخدم قياسي، فلا بد من توافق الواجهة مع مستويات الإشارة و الممانعة. و عند استخدام التعديل الرقمي، يجب أن تتضمن الواجهة محوّل للإشارة من رقمية إلى قياسي (Digital to Analogue Converter ADC).

تعدّ المكوّنات السابقة المكوّنات الأساسية الثابتة لنظام الاتصالات البصرية، ولكن يتضمّن النظام مكونات أخرى تؤدّي وظائف معينة فيه، من هذه المكونات:

1. الوصلات و المجزّءات البصرية couplers and splitters

الوصلات couples هي الأجهزة التي تفرّع بعض قدرة الإشارة من مسار النقل الرئيسي، و عادة يكون ذلك لمراقبة القدرة أو لأغراض التغذية الراجعة feedback. يتضمّن هذا التعريف حالات خاصة. مثلا، إذا تمّ تفريع 50% من قدرة الإشارة من المسار الرئيسي فانّ الجهاز المستخدم في هذه الحالة يسمّى مجزّئ القدرة splitter. الحالة الخاصة من الوصلات تصنّع ببساطة بهيئة وصلة Y الموضّحة في الشكل (3 – 4 a)، و التي تعمل في المدى من0.8μm إلى 1.6μm. كما يوضّح الشكل انماط أخرى من الوصلات (b: وصلة متقاربة proximity coupler، c: وصلة ذات فجوة صفرية).

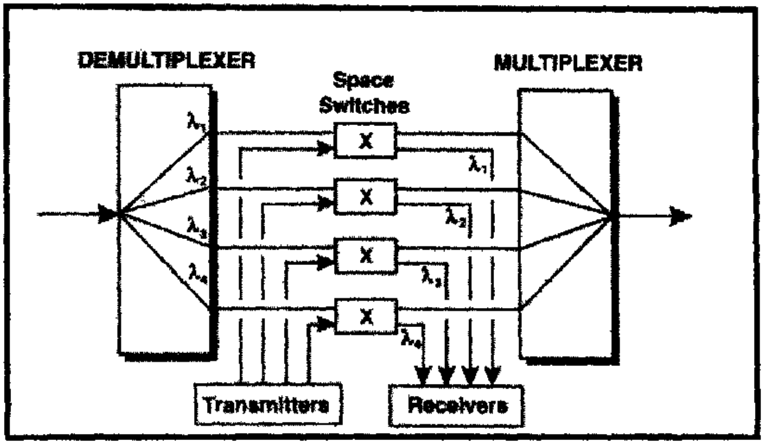


شكل (3 – 4) أنماط مختلفة من الوصلات (a) وصلة Y، (b) وصلة متقاربة coupler proximity، (c) وصلة ذات فجوة صفرية

2. مجمّعات القنوات باستخدام التقسيم الموجي WDM multiplixers؛

يستخدم مصطلح "مجمّعات الإضافة و الإسقاط add/drop MUX " لوصف إضافة أو إسقاط قنوات لإشارة مجمّعة إلكترونيا بدون إعادة توزيع سلسلة النبضات الرقمية، في مجال الاتصالات البصرية، تقوم هذه المجمّعات بإضافة وإسقاط إشارة بصرية واحدة أو أكثر من مسلك عالي السعة.

الشكل (3 – 5) يبيّن إحدى هيئات المجمّعات المكنة مع مفاتيح space switches لتمكين المستقبل من إسقاط قنوات و تمكين المرسل من إضافة قنوات، الأطوال الموجية للقنوات المضافة تختلف عن الأطوال الموجية للقنوات المسقطة، التجميع في هذه الحالة تجميع موجي optical WDM وليس تجميع إلكتروني، تعدّ هذه المجمّعات عنصر مهم جدا للشبكات البصرية كافة.



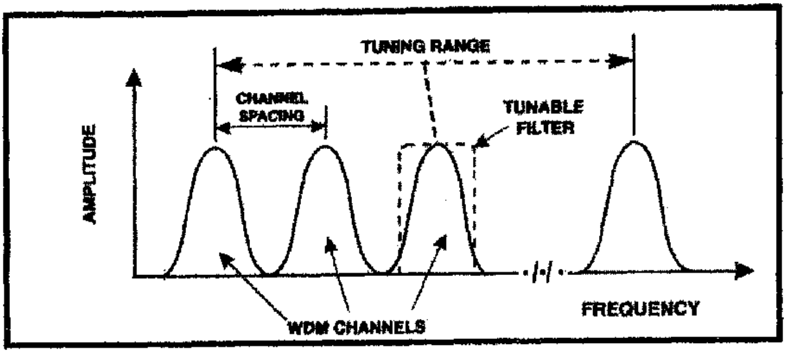
شكل (3 – 5) مجمّعات الإضافة و الإسقاط add/drop multiplixer

3. المصافي البصرية fiber filters:

المصافي من العناصر الأساسية لأي نظام اتصالات، و أنظمة الاتصالات البصرية ليست استثناء لهذه القاعدة. و توضع المصافي في مواقع مختلفة في النظام، مثل مستقبلات WDM، يوجد صنفين من المصافي البصرية:

أ. مصافي الترددات القابلة للتوليف frequency tunable filter:

معاملات مصافي الترددات القابلة للتوليف هي: عرض نطاق القناة channel bandwidth، المسافة الفاصلة في القناة channel spacing، و مدى التوليف المطلوب tuning range. والشكل (3 – 6) يوضّح هذه المعاملات. يجب ان تكون المسافة الفاصلة في القناة صغيرة قدر الإمكان لتسمح بتوليف أكبر عدد من القنوات ضمن مدى التوليف، ولكن في نفس الوقت تحدّد المسافة الفاصلة بالحد الأدنى الذي يحول دون حدوث تداخل في القنوات المتجاورة.



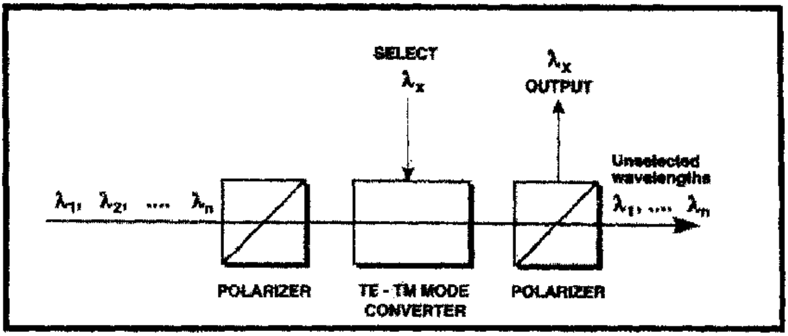
شكل (3 – 6) خصائص مصفى الترددات القابلة للتوليف

سرعة التوليف: الزمن الذي نحتاجه للتوليف بين ترددين، يعدّ أيضا من المعاملات الهامة لهذا النوع من المصافي. في أنظمة البث المرئية، الاختيار العشوائي للقنوات (التي تقابل القنوات التلفزيونية) يحدث في زمن توليف يقدّر بأجزاء من المليون من الثانية.

يوجد عدّة أنواع من هذه مصافي القابلة للتوليف، منها:

1. مصافي **Fabry-perot**: التي تعتمد في عملها على مبدأ "ينتج عن التداخل الجزئي للحزمة beam مع نفسها، فترات زمنية دورية من تمرير للنطاق و حجب للنطاق". و عمليّة التوليف تحتاج لحركة ميكانيكية للمرايا، فيكون اختيار الطول الموجي بطيء نسبيا. كما أنّ الفقد الناتج عن المصفى المكوّن من مرحلة واحدة حوالي 2 dB.
2. مصافي الربط النمطي **mode coupling**: تستخدم هذه المصافي تأثيرات بصرية – سمعية، بصرية – كهربائية، وبصرية – مغناطيسية لتنتج خصائص توليف مفيدة، كما يوضّح الشكل (3 – 7)، يكون الضوء الداخل إلى المصفى ذو نمط TE ويحوّل إلى النمط TM باستخدام احد التأثيرات المذكورة.

يشترط للوصل النمطي أن تكون الإشارة البصرية ذات طول موجي ضيق جدا. و يفصل بين نمطي الانتشار بواسطة مستقطب Polarizer.



شكل (3 – 7) مصفى ربط نمطي بصري قابل للتوليف

mode coupling tunable filter

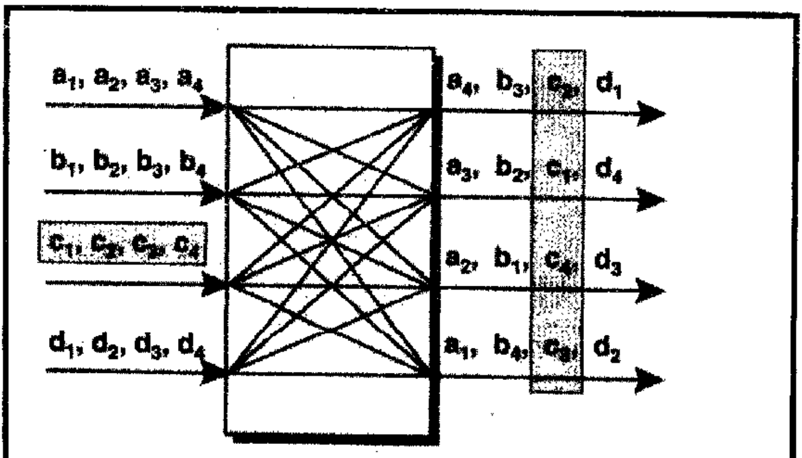
3. المصافي ذات البناء الليزري شبه الموصل semiconductor laser structure: بتوفير شروط معينة يمكن إنتاج مكبّر باختيارية معقولة من البناء الليزري شبه الموصل، قد يشكّل ذلك مشكلة لمصممي المكبرات و لكنّه ملائم لعمل المصافي القابلة للتوليف.

ب. مصافي الترددات الثابتة **fixed frequency filter**: و سنتطرق للحديث عن هذه المصافي في موضوع WDM.

4. محوّلات الطول الموجي wavelength converters: تحويل الطول الموجي (أو التردد) من الخطوات المهمّة في شبكات (WDM). إنّ مزج إشارة المعلومات بإشارة التردد المحلي local oscillator هي الصيغة العامة للتكنولوجيا الراديوية منذ بداياتها. و استخدام المازج في التكنولوجيا البصرية هو تطور طبيعي للعمل في الترددات العالية في أنظمة الاتصالات. يعرف المازج بأنه محوّل ترددات لأعلى أو محوّل ترددات لأسفل. و ترددات

إشارة مخرج المازج (و هو جهاز غير خطي) تضم حاصل جمع و حاصل طرح الترددين الداخلين إليه.

كذلك تعدّ موجّهات الطول الموجي wavelength routers من أهم الأجهزة في شبكات الاتصالات البصرية. فهي العنصر الأساسي لإعادة استخدام الترددات. لموجّه الطول الموجي N من المداخل و N من المخارج. قد يحتوي كل مدخل على عدد N من القنوات، و كل مخرج يحتوي عدد N من الترددات المختلفة. كما واضح في الشكل (3 – 8)، توزّع إشارة المعلومات ذات الطول الموجي المحدّد على جميع المخارج، مما يفيد في البث. إذا احتوى كل مدخل على تردد مختلف، و بتحديد فترة زمنية ثابتة للاختيار، فإنّ كل مخرج سيحتوي إشارة متعددة الأطوال الموجية. و يمكن تمثيل الموجّه بمصفوفة مجمّع و موزّع (MUX-DeMUX) كما في الشكل(3 – 8).



شكل (3 – 8) موجّهات الطول الموجي wavelength routers

4. العوازل Isolators:

تعدّ العوازل من المكونات الأساسية لأنظمة الاتصالات البصرية. و هي أوجه بينية تعمل على تقليل الانعكاسات و بالتالي التشويش و التشتيت في الاستخدامات الحسّاسة للانعكاسات مثل coherent transmission systems وCATV، إنّ أكثر مكونات النظام حساسية للتشويش هي المكبّرات ومصادر الليزر، توضع العوازل عند مخرج مصدر الليزر لإيقاف الانعكاسات و لمنع زيادة عرض خط الليزر، يتطلّب عزل بقيمة (50-60dB) لضمان خفض الانعكاسات بشكل جيد.

مبدأ عمل العوازل هو توليد فرق طور أحادي الاتجاه تبعا لتدوير فاراداي، وبالتالي فإنّ أي إشارة منعكسة ستعاني توهينا عاليا بفعل الطور المعاكس.

تكون العوازل كبيرة الحجم و لذلك فهي غير مضمّنة في الدوائر البصرية المتكاملة optical integrated circuits.

تعطي عوازل موجّهات الطول الموجي عزل 30dB، والخسارة الناتجة عن هذه الأجهزة(2-3 dB) للطول الموجي 1500 mm. وتشكّل هذه العوازل الصغيرة الحجم (8mm x 3mm) مكوّنة أساسية في معالجة الدوائر الضوئية صغيرة الحجم.

5. المفاتيح الضوئية photodiode switches:

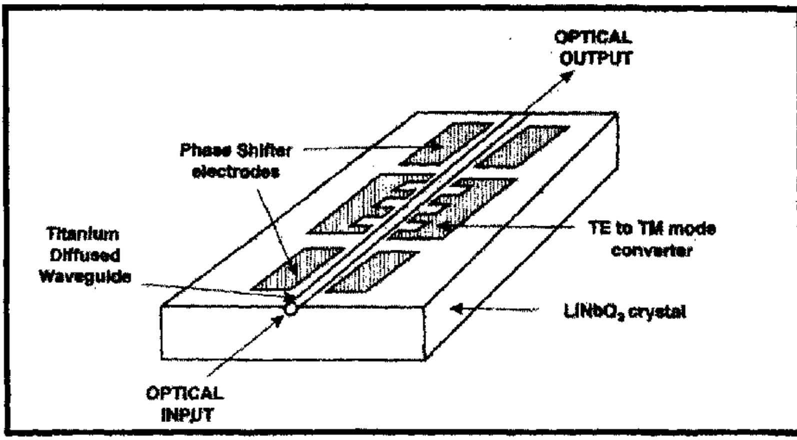
يتّجه عالم الاتصالات إلى استبدال المفاتيح الميكانيكية البطيئة بمفاتيح رقمية إلكترونية سريعة (مفاتيح التحكم مبرمجة storedprogram controlled switches (PPC))، عند إلحاق هذه المفاتيح بأنظمة الاتصالات البصرية، يتمّ تحويل الإشارة من الحالة الإلكترونية إلى الضوئية.

إنّ توقّع توصيل نطاق واسع للمشترك أمر آخذ في التزايد، و لذلك فإنّ استخدام المفاتيح في المستوى الضوئي عوضا عن المستوى الإلكتروني أصبح أساسيا، المجمّعات البصرية optical multiplixers من الأجهزة التي تستفيد من المفاتيح البصرية، كذلك أنظمة الاتصالات البصرية ذات تعدد الوصول بالتقسيم الزمني (TDMA) تحتاج إلى هذه المفاتيح.

في مجال آخر يبيّن أهمية استخدام المفاتيح الضوئية، أنظمة الحواسيب تعد بتوسيع القدرة و السعة و السرعة، تستعيض شبكة الحواسيب البصرية بالفوتون عوضا عن الإلكترون، و الذي ينتقل أسرع 1000 مرة من انتقال الإلكترون في وسائل النقل الإلكترونية، فيتم استبدال الأسلاك بالحزم الضوئية و التي تنقل المعلومات في ثلاث اتجاهات، ولأن هذه الحزم لا تتفاعل مع بعضها البعض، يمكن إرسال إشارات متعددة عبر نفس المسار. مما يؤدي إلى زيادة نقل المعلومات على الأقل 10^6 مرة.

6. المستقطبات Polarizers:

يسمح الليف النموذجي الدائري المتناظر أحادي النمط بانتشار نمطين مستقطبين متعامدين في آن واحد، عمليا، لا يكون الليف متناظر أو دائري بشكل مثالي و بالتالي لا تتساوى القدرة كل نمط، ثبات الاستقطاب يعني أن القدرة لكل نمط من الاثنين تتغيّر لفترات زمنية طويلة (بالدقائق و الساعات و ليس بالثواني).



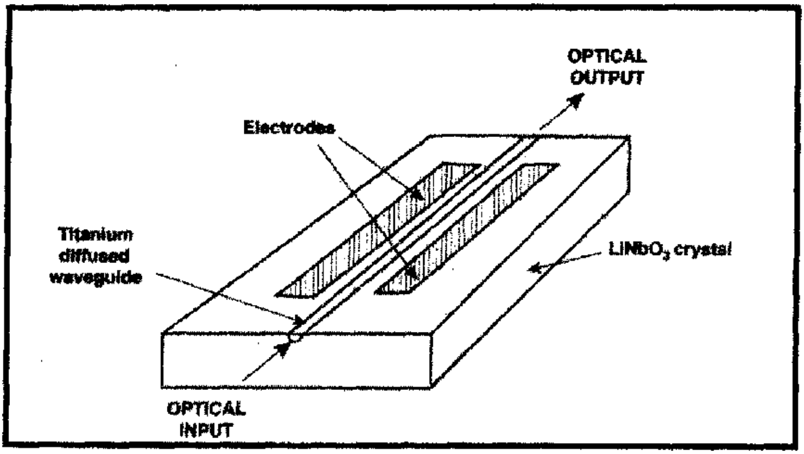
شكل (3 – 9) متحكم بالاستقطاب polarization controller

لتحقيق أداء مرضي في انظمة الاتصالات بالألياف البصرية من الضروري ظهور نمط واحد خلال النقل البصري، إحدى الطرق المستخدمة لتحقيق هذا الغرض هي استخدام المتحكّمات بالاستقطاب، والشكل (3 – 9) يوضّح متحكم بالاستقطاب يوضع بعد مصدر الليزر للحصول على نمط واحد من الاستقطاب، أولا يقوم مزيح الطور phase shifter بتعديل فرق الطور بين انماط TE و TM القادمة بحيث يكون فرق الطور بينهما 90°، ثمّ يقوم محوّل النمط بزيادة نسبة قدرة TE مقارنة بقدرة TM.

7. المعدّلات الخارجية external modulators:

يتمّ التعديل بشكل مباشر للتيار الناتج من المصدر، أو باستخدام معدّل خارجي يلحق المصدر، من مزايا التعديل المباشر قلة المكوّنات مقارنة بالمعدّل الخارجي، ولكن تتطلب بعض المشاكل استخدام المعدّلات الخارجية خاصة لمعدل نبضات عالي. كذلك لنظام WDM طريقة التعديل المباشرة تتطلّب مسافة أكبر بين القنوات أكثر من طريقة التعديل الخارجي.

يوجد نوعين من المعدّلات الخارجية التي تستفيد من الخاصية الالكترو – ضوئية لبعض المواد، معامل الانكسار لمادة نيوبات الليثيوم ($LiNbO_3$) يتغيّر تبعا للمجال الكهربائي المسلّط، الشكل (3 – 10) يوضّح معدّل بسيط من نيوبات الليثيوم ($LiNbO_3$).

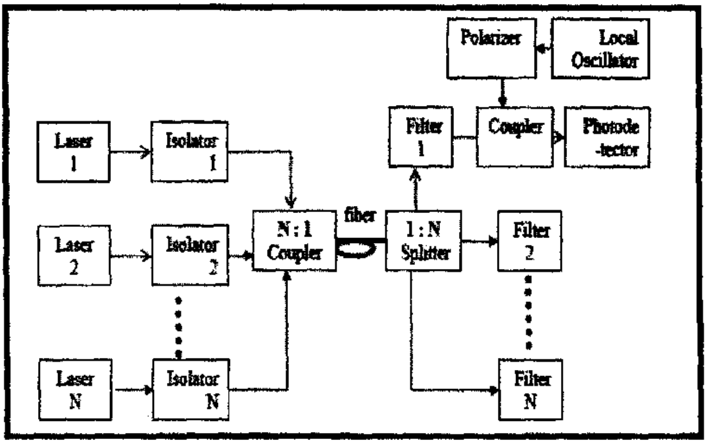


شكل (3 – 10) معدّل بسيط من نيوبات الليثيوم ($LiNbO_3$)

فيكون طول الأقطاب الكهربائية electrodes حوالي 2cm، و الجهد الكهربائي المطبّق اقل من 10v لينتج تغيّر في الطور بمقدار 180^0، بالتحويل البسيط بين حالتي on و off وفقا لقيمة النبضات (0 or 1) يتم الحصول على إشارة بصرية معدّلة.

كذلك تستخدم معدّلات خارجية من مواد شبه موصلة لتوفّر عرض نطاق واسع (يزيد عن 20GHz).

والشكل (3 – 11) يوضّح استخدام المكونات السابقة في نظام اتصالات بصرية متعدّدة القنوات.

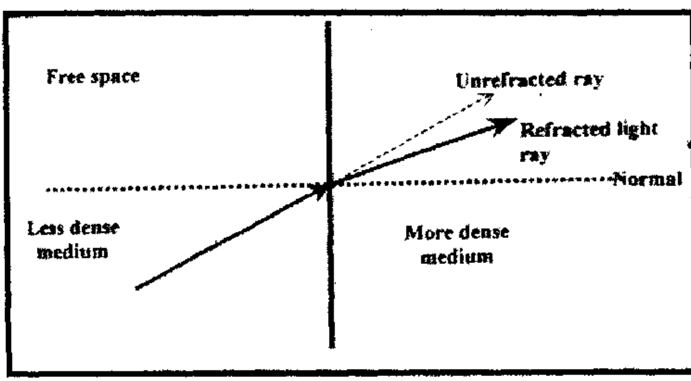


شكل(3 – 11) مكونات نظام الاتصال البصري متعدد القنوات

4. حسابات الكيبل الضوئي:

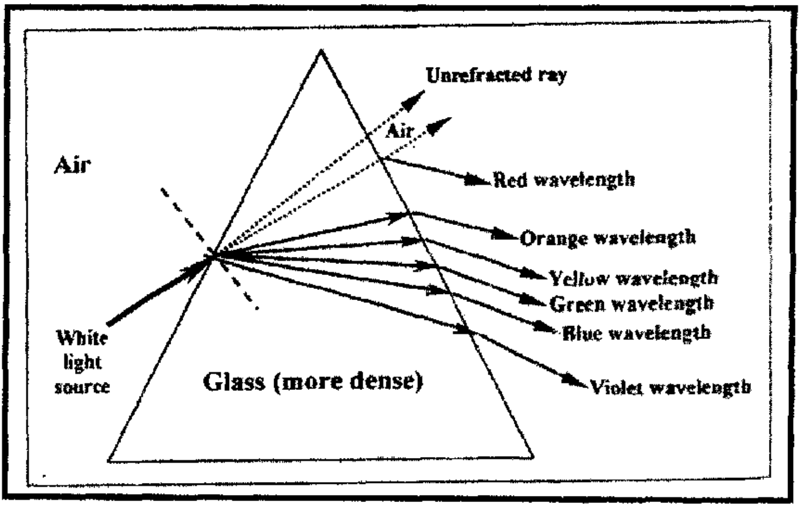
معامل الانكسار و قانون سنيل:

الشكل (3 – 12) يوضّح كيف ينكسر الشعاع الضوئي عند مروه من وسط ذي كثافة معينة إلى وسط آخر أقل منه كثافة (فعليا، الشعاع الضوئي لا ينحني و إنّما يغيّر اتجاهه عند السطح الفاصل بين الوسطين).



شكل (3 – 12) انكسار الشعاع الضوئي

والشكل (3 – 13) يوضّح كيف انّ ضوء الشمس (الضوء الأبيض) يحتوي على جميع الترددات الضوئية، و التي تتأثر عند مرور الضوء بوسط أكثر كثافة من الفراغ الحر. ففي الشكل نلاحظ انكسار الأشعة الضوئية مرتين، عند كل من السطحين الفاصلين بين الهواء و الزجاج. و الخط المتقطع يوضّح المسار المباشر الافتراضي للضوء الأبيض في حال لم ينكسر.



شكل(3 – 13) انكسار ضوء الشمس (الضوء الأبيض)

أشد انكسار يكون للضوء البنفسجي بينما الضوء الأحمر هو الأقل انكسارا، و يتراوح انكسار بقية الألوان بينهما. يمكن توقّع مقدار الانكسار الحاصل عند السطح الفاصل بين وسطين مختلفين في الكثافة بالاعتماد على معامل الانكسار refractive index لكلا الوسطين (المادتين). يعرّف معامل الانكسار لمادة بأنّه النسبة بين سرعة إنتشار الضوء في الفراغ الحر إلى سرعة إنتشار الضوء في تلك المادة:

$$n = \frac{c}{v}$$

حيث:

n: معامل انكسار المادة (ليس له وحدة).

c: سرعة إنتشار الضوء في الفراغ الحر ($3x10^8$m/s)

V: سرعة إنتشار الضوء في المادة.

والجدول (3 – 2) يبيّن قيمة معامل الانكسار لمواد مختلفة.

جدول(3 – 2) قيمة معامل الانكسار لمواد مختلفة

الوسط	معامل الانكسار
الفراغ الحر أو الهواء	1
الماء	1.33
الكحول الإثيلي	1.36
الكوارتز	1.46
الليف الزجاجي	1.9–1.5
الديامونت	2.42–2
السيليكون	3.4
آرسيناد الجاليوم	3.6

يمكن تفسير كيفية انكسار الشعاع الضوئي عند السطح الفاصل بين وسطين بقانون سنيل Snell's law، و الذي ينصّ على انّ:

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

حيث:

n_1: معامل انكسار المادة الأولى (medium 1)

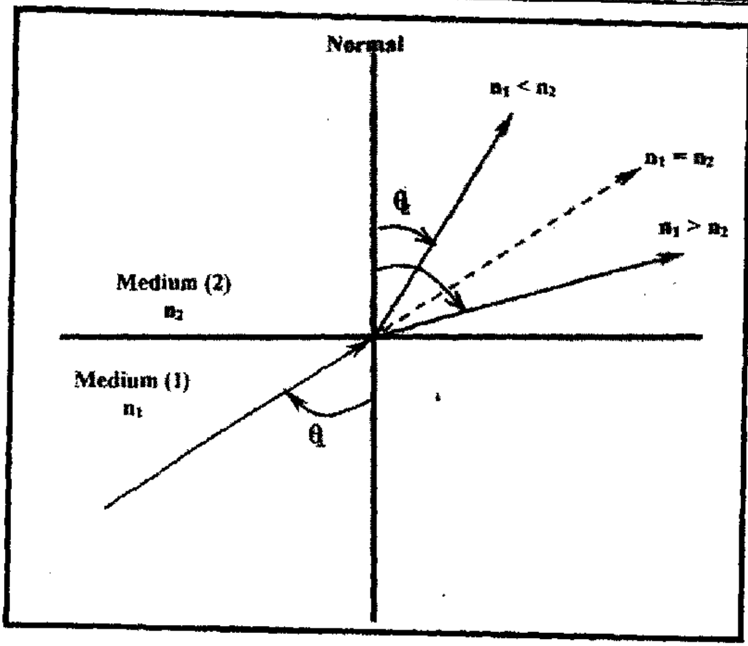
θ_1: زاوية السقوط incidence angle.

n_2: معامل انكسار المادة الثانية (medium 2)

θ_2: زاوية الانكسار refraction angle

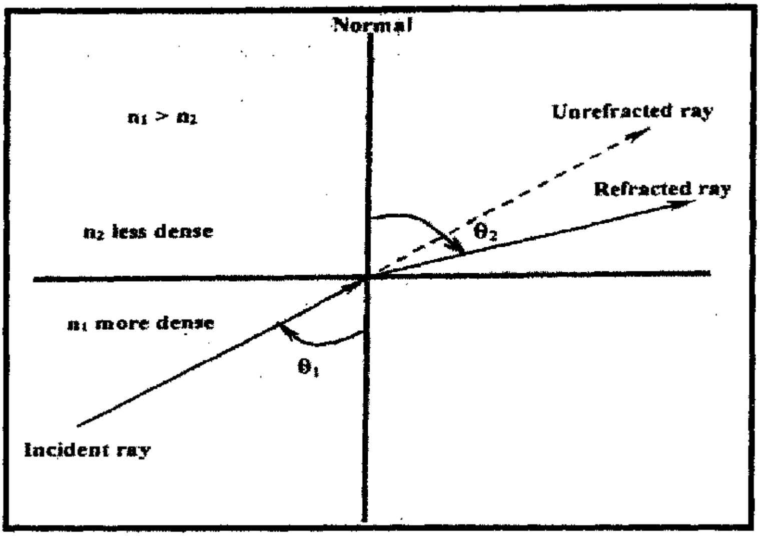
حيث أنّ زاوية السقوط هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والخط العمودي normal على السطح الفاصل بين الوسطين، وزاوية الانكسار هي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر والخط العمودي على السطح الفاصل بين الوسطين.

والشكل (3 – 14) يوضّح انكسار شعاع ضوئي، فإذا كان الوسطين من نفس الكثافة سيمرّ الشعاع بنفس الاتجاه دون انكسار (الخط المتقطع)، امّا إذا كان الوسط الثاني أقل كثافة من الوسط الأول ($n_1>n_2$) فان زاوية الانكسار أكبر من زاوية السقوط، أي انّ الشعاع المنكسر ينحني بعيدا عن العمود، امّا إذا كان الوسط الثاني أكثر كثافة من الوسط الأول ($n_1<n_2$) فان زاوية الانكسار أصغر من زاوية السقوط، أي انّ الشعاع المنكسر ينحني مقتربا من العمود.



شكل (3 – 14) انكسار شعاع ضوئي وفق معامل الانكسار للوسطين

مثال: في الشكل التالي (3 – 15) كان الوسط الأول من الزجاج، و الوسط الثاني من الكحول الأثيلي. و تمّ إسقاط الشعاع الضوئي بزاوية إسقاط 30^o، جد قيمة زاوية الانكسار.



شكل(3 – 15) انكسار الشعاع الضوئي بين الزجاج و الكحول الاثيلي

الحل:

من الجدول (3 – 1) نجد أن معامل الانكسار للزجاج و الكحول الأثيلي:

n_1 (glass)= 1.5

n_2 (ethyl alcohol)= 1.36

وبتطبيق قانون سنيل نستطيع إيجاد زاوية الانكسار:

$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$

$1.5 \sin(30) = 1.36 \sin(\theta_2)$

$\sin(\theta_2) = 0.5514$

$\theta_2 = \sin^{-1}(0.5514) = 33.47^\circ$

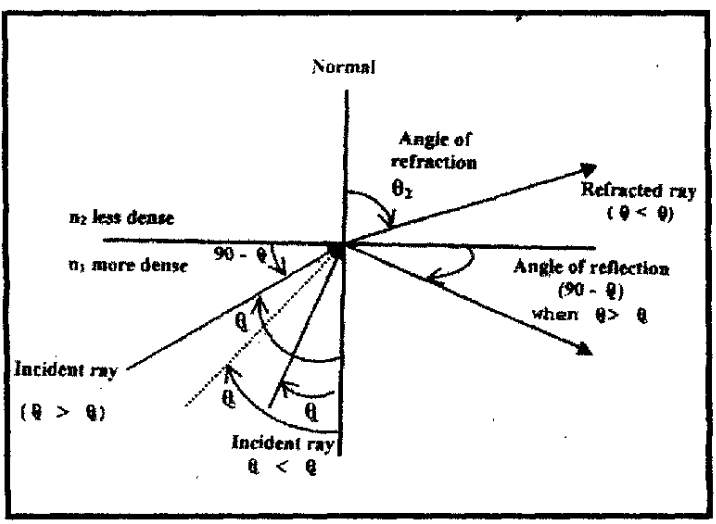
إنّ هذه النتيجة تشير إلى أنّ الشعاع الساقط انحرف بمقدار 3.47^o عند السطح الفاصل. و لأنّ الضوء انتقل من الوسط الأكثر كثافة إلى الوسط الأقل كثافة فانّ الشعاع ينحرف بعيدا عن العمود المقام على السطح الفاصل بين الوسطين.

الزاوية الحرجة critical angle:

تعرّف الزاوية الحرجة أنّها أصغر زاوية سقوط يمكن إسقاط شعاع ضوئي بها على سطح فاصل بين وسطين وينتج عنها زاوية انكسار تساوي 90^o أو اكثر.

كما هو موضّح في الشكل $(3-16)$، إذا ساوت زاوية الانكسار 90^o أو أكثر، لن يسمح للشعاع الضوئي بالنفوذ للوسط ذو الكثافة الأقل، بناءا على ذلك، يحدث انعكاس reflection تام للشعاع الضوئي بحيث تساوي الانعكاس θ_{ref} الموضحة في الشكل والمحصورة بين الشعاع المنعكس والسطح الفاصل بين الوسطين:

$$\theta_{ref} = 90 - \theta_{in}$$



الشكل $(3-16)$ الزاوية الحرجة critical angle

إذا ساوت زاوية الانكسار 90° كما في الشكل (3 – 16)، فانّ زاوية السقوط الحرجة θ_c تعطى على النحو التالي:

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)$$

$$n_1 \sin(\theta_c) = n_2 \sin(90)$$

$$\sin(\theta_c) = n_2 / n_1$$

$$\theta_c = \sin^{-1}(n_2 / n_1)$$

مثال: جد الزاوية الحرجة لإسقاط شعاع ضوئي من الزجاج إلى الهواء. ثم جد:

1. زاوية الانكسار عندما تساوي زاوية السقوط 41.81° .
2. زاوية الانعكاس عندما تساوي زاوية السقوط 60°.

الحل:

من الجدول (3 – 2) نجد أن معامل الانكسار للزجاج (الوسط الأول ذو الكثافة الأعلى) و الهواء (الوسط الثاني ذو الكثافة الأقل):

$$n_2 \text{ (air)} = 1$$

$$n_1 \text{ (glass)} = 1.5$$

وبالتالي فإنّ قيمة الزاوية الحرجة:

$$\theta_c = \sin^{-1}(n_2 / n_1)$$

$$= \sin^{-1}(1/1.5)$$

$$= 41.81^{\circ}$$

1. الآن يمكن إيجاد زاوية الانعكاس عندما تساوي زاوية السقوط قيمة الزاوية الحرجة (41.81^o)، ففي هذه الحالة تساوي زاوية الانكسار 90^o.
2. إذا كانت زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة فانّ الشعاع الضوئي سينعكس كليا في نفس الوسط و بزاوية انعكاس مقاسة من خط السطح الفاصل بين الوسطين تساوي:

$$\theta_{ref} = 90 - \theta_{in}$$

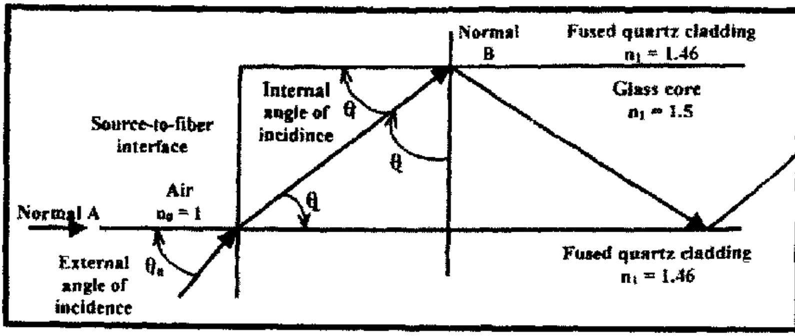
$$= 90^o - 60^o = 30^o$$

زاوية القبول acceptance angle:

في هذا الجزء سنتناول موضوع قابلية الليف البصري على تجميع الضوء، أي القابلية على ربط الضوء من المصدر إلى الكيبل الضوئي.

الشكل (3 – 17) يوضّح نهاية الليف الموصول إلى المصدر الضوئي، عند تسليط الأشعة الضوئية من المصدر إلى داخل الليف على الحد الفاصل بينهم عند العمود A، مُعامل الانكسار للهواء يساوي 1، ومعامل الانكسار للزجاج 1.5. بناءا على ذلك، يدخل الضوء الحد الفاصل بين الهواء والزجاج وينتشر في الليف.

تحت هذه الظروف ووفق قانون سنيل، فإنّ الشعاع الضوئي سينعكس مقتربا من العمود A. سيسبب ذلك تغيرّ اتجاه الشعاع وانتشاره قطريا باتجاه لبّ الليف بزاوية θ_c والتي تختلف عن الزاوية الخارجية للإسقاط بين السطحين (الهواء\الزجاج) θ_{in}. ليتحقّق انتشار الشعاع داخل الليف لا بدّ له أن يضرب الواجهة بين اللبّ و الغطاء بزاوية أكبر من θ_c.



شكل (3 – 17) نهاية الليف الموصول إلى المصدر الضوئي

بتطبيق قانون سنيل، تعطى زاوية الإسقاط الخارجية على النحو التالي:

$$n_0 \sin(\theta_{in}) = n_1 \sin(\theta_1)$$

حيث:

$$\theta_1 = 90^\circ - \theta_c$$

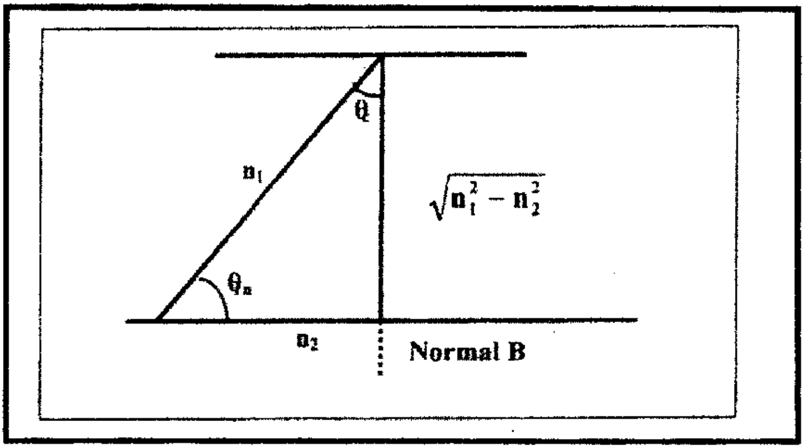
$$\sin(\theta_1) = \sin(90^\circ - \theta_c) = \cos(\theta_c)$$

وبالتالي فإنّ:

$$n_0 \sin(\theta_{in}) = n_1 \cos(\theta_c)$$

$$\cos(\theta_c) \frac{n_1}{n_0} \sin(\theta_{in}) =$$

والشكل (3 – 18) يوضّح العلاقة المثلثية بين هذه القيم.



شكل (3 – 18) العلاقة المثلثية بين معاملات الانكسار

يتضّح من الشكل السابق أنّ:

$$\frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1}\cos(\theta_c) =$$

وبالتالي:

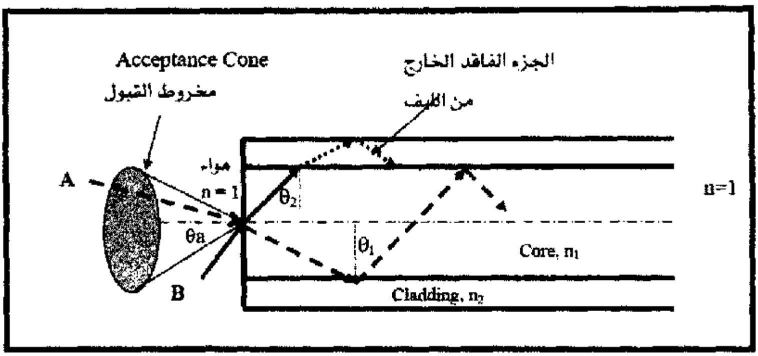
$$\frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_1} \quad \frac{n_1}{n_0}\sin(\theta_{in}) =$$

$$\frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0} =$$

ولأنّ الضوء غالبا ما يدخل الليف البصري من الهواء ($n_0=1$) فإنّ أكبر زاوية إسقاط تعطى على النحو التالي:

$$\frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{1}) = \sin^{-1}(\sqrt{n_1^2 - n_2^2})\,(\theta_{in(max)} = \sin^{-1}$$

وتسمّى هذه الزاوية بزاوية القبول acceptance angle او نصف زاوية لب القبول acceptance core half angle، والتي تعرّف على انّها أكبر زاوية يمكن بها إسقاط الضوء الخارجي على الواجهة بين الهواء و الليف البصري بحيث يستمر بالانتشار داخله باستجابة لا تنزل أكثر من 10 dB من القيمة العظمى. و تدوير زاوية القبول حول محور الليف يصف ماهية مخروط القبول acceptance cone لداخل الليف و الموضّح بالشكل (3 – 19).



شكل (3 – 19) زاوية القبول و مخروط القبول

فتحة النفوذ العددية Numerical Aperture (NA):

تعتبر فتحة النفوذ العددية NA مقياسا مستخدم لوصف القابلية على التجميع الضوئي لليف البصري، فزيادة قيمة NA (والتي تتراوح بين 0 و1) تعني كمية أكبر من الضوء المقبول من مصدر الضوء الخارجي إلى الليف، وفي الليف ذو معامل الانكسار العتبي تعرّف فتحة النفوذ العددية NA رياضيا بأنّها جيب زاوية القبول acceptance angle:

$$NA = \sin(\theta_{in})$$
$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$
also
$$\theta_{in} = \sin^{-1}(NA)$$

أمّا في الليف ذو معامل الانكسار التدريجي، تعرّف فتحة النفوذ العددية NA رياضيا بأنّها جيب الزاوية الحرجة:

$$NA = \sin(\theta_c)$$
$$NA = \frac{n_2}{n_1}$$
also
$$\theta_c = \sin^{-1}(NA)$$

و بتعريف الفرق النسبي بين معاملي الانكسار للوسطين بأنّه:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$$

فإنّ العلاقة بينه و بين قيمة النفوذية العددية تصبح على النحو التالي:

$$NA = n_1\sqrt{2\Delta}$$

وعادة يكون الفرق النسبي بين وسط ما و الهواء اقل بكثير من 1.

مثال: ليف بصري متعدّد الأنماط ذو معامل انكسار عتبي مصنوع من لبّ زجاجي ($n_1=1.5$).

وغطاء من الكوارتز ($n_2=1.46$)، جد قيمة الزاوية الحرجة (θ_c) و زاوية القبول (θ_{in})، ثم جد قيمة فتحة النفوذ العددية NA، مع العلم أنّ الوسط من المصدر إلى الليف هو الهواء.

الحل:

بتطبيق قانون سنيل نجد انّ قيمة الزاوية الحرجة:

$\theta_c=\sin^{-1}(n_2 / n_1)$

$= \sin^{-1}(1.46/1.5)$

$= 76.7^\circ$

وفق العلاقة الرياضية المعطاة لحساب زاوية القبول نجد أنّ قيمتها:

$$\theta_m = \sin^{-1}(\sqrt{n_1^2 - n_2^2})$$
$$= \sin^{-1}(\sqrt{(1.5)^2 - (1.46)^2})$$
$$= 20.2^\circ$$

كذلك يتم حساب فتحة النفوذ العددية وفق علاقتها لليف ذو معامل الانكسار العتبي بأنّه:

$$NA = \sin(\theta_{in})$$
$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$
$$= \sqrt{(1.5)^2 - (1.46)^2}$$
$$= 0.3441$$

مثال: ليف بصري متعدّد الأنماط ذو معامل انكسار تدريجي مصنوع من لبّ زجاجي ($n_1=1.5$) و غطاء من الكوارتز ($n_2=1.46$)، جد قيمة الزاوية الحرجة (θ_c)، ثم جد قيمة النفوذية العددية NA. مع العلم انّ الوسط من المصدر إلى الليف هو الهواء.

الحل:

كما في المثال السابق و وفقا لقانون سنيل نجد انّ قيمة الزاوية الحرجة:

$\theta_c = \sin^{-1}(n_2 / n_1)$

$= \sin^{-1}(1.46/1.5)$

$= 76.7^o$

ولكن حيث انّ ذو معامل انكسار تدريجي فإنّ حساب فتحة النفوذ العددية يتم وفق العلاقة التالية:

$$NA = \sin(\theta_c)$$
$$NA = \sin(76.7^o)$$
$$= 0.973$$

نلاحظ انّه بنفس مواصفات الليف و تركيبه يكون لليف ذو معامل الانكسار التدريجي فتحة نفوذ أكبر من فتحة النفوذ لليف ذو معامل الانكسار العتبي، وعمليا، يتم استخدام عدسات بين المصدر الضوئي و الليف البصري ليساعد في تجميع الضوء و تركيزه لإدخاله إلى الليف بأقل خسارة، وبنفس التقنية تستخدم العدسات لإيصال الضوء من الليف إلى الكاشف الضوئي عند المخرج.

5. طرق انتشار الضوء داخل الكيبل الضوئي:

يحلّل أداء الليف البصري بالكامل بتطبيق معادلة ماكسويل، و هو تحليل معقّد. لمعظم التطبيقات العملية، يستخدم رسم الموجة الهندسي geometric wave tracing عوضا عن معادلة ماكسويل، إن النتائج التي يمكن الحصول عليها تكون دقيقة بشكل كافٍ.

تشعّ الذرّات من المصدر الضوئي بطاقة معيّنة، يسبّب ذلك تغيير مستوى الطاقة للإلكترون من مستوى معين إلى آخر، و ذلك بامتصاص الطاقة الضوئية، عند الانتقال من مستوى طاقة إلى آخر، تمتص الذرّة حزمة من الطاقة تسمى الفوتون photon، و تتناسب طاقة الفوتون طرديا مع تردد الضوء المنبعث وفق العلاقة الرياضية التالية:

$$E_p = h \times f$$
$$= h \times \frac{c}{\lambda}$$

حيث:

E_p: طاقة الفوتون، وحدتها الجول (J).

h: ثابت بلانك Plank constant ، و يساوي (6.625×10^{34} J.s)

f: تردد الضوء المنبعث، وحدته الهرتز Hz

λ: الطول الموجي للضوء المنبعث، وحدته المتر m

c: سرعة الضوء، و تساوي (3×10^{8} m/s).

مثال:

جد طاقة الفوتون الناتجة عن انبعاث ضوء بتردد 10^{14} Hz .

الحل:

تتناسب طاقة الفوتون، الناتجة عن تغيير مستوى الطاقة للإلكترون من مستوى معين إلى آخر، طرديا مع تردد الضوء المنبعث وفق العلاقة الرياضية التالية:

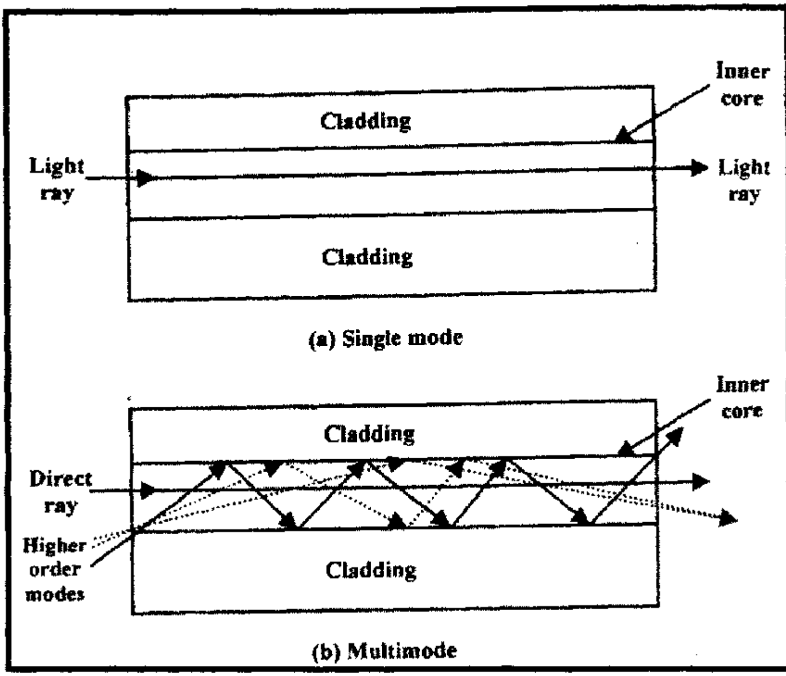
$$E_p = h \times f$$
$$= 6.625 \times 10^{34} \times 10^{14}$$
$$= 6.625 \times 10^{48} J$$

إنّ الطاقة الكهرومغناطيسية، مثل الضوء، تنتشر في الفراغ بسرعة $3x10^8 m/s$. كذلك سرعة انتشار جميع ترددات الضوء تكون متساوية. على أي حال، لقد اثبتت التجارب انخفاض سرعة الانتشار في المواد ذات الكثافة الأعلى من الفراغ الحر، إنّ سرعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية تقل عند انتقالها من وسط إلى وسط آخر أكثر كثافة و ينكسر الشعاع الضوئي باتجاه الخط العمودي على الحد الفاصل بين الوسطين، كما هو موضّح في الشكل (3 – 14)، من الجدير بالذكر أنّ ترددات الضوء المختلفة لا تنتشر جميعها بنفس السرعة في الأوساط ذات الكثافة الأعلى من الفراغ الحر.

ينتشر الضوء خلال الكيبل الضوئي بالانعكاس reflection. تعتمد طريقة انتشار الضوء على عاملين رئيسيين:

1. نمط الانتشار propagation mode:

من المصطلحات المستخدمة في الأنظمة البصرية مصطلح "نمط mode"، وهي تعني ببساطة "المسار"، إذا انتشر الضوء في مسار واحد مفرد فيسمى النمط في هذه الحالة بالنمط المفرد single mode كما في الشكل(3 – 20 a)، امّا إذا انتشر الضوء في أكثر من مسار فيسمى النمط في هذه الحالة بالنمط المتعدّد multimode كما في الشكل(3 – 20 b).



شكل(3 – 20) a. النمط المفرد، b. النمط المتعدد

نلاحظ من الشكل (3 – 20 b) انتشار الحزم الضوئية بزوايا متعددة مشكّلة عدّة مسارات (أنماط)، تستخدم أرقام جانبية لتمييز الأنماط المختلفة. من أهمّ الأنماط المنتشرة عبر الليف الضوئي:

أ. أنماط كهربائية مستعرضة Transverse Electric Modes و توصف بالرمز $TE_{m,n}$.

ب. أنماط مغناطيسية مستعرضة Transverse Magnetic Modes وتوصف بالرمز $TM_{m,n}$.

ج. انماط هجينه Hybrid: تحتوي المجالين الكهربائي و المغناطيسي من نوع HE.

د. انماط هجينه Hybrid: تحتوي المجالين الكهربائي و المغناطيسي من نوع EH.

من الأمثلة على هذه الأنماط: TE_{01}، TM_{10}، EH_{12}، HE_{11}،......

يمكن تحديد أنماط الانتشار في ليف بصري معيّن من خلال حساب التردد المعياري (Normalized frequency V) لليف البصري، حيث تتحدّد أنماط الانتشار اعتمادا على التردد المعياري V كما هو مبيّن في الشكل (3 – 21)، مثلا، للتردد المعياري V=1.5 (و هي قيمة تقع بين 0 و2.4) فانّ نمط الانتشار في الليف هو HE_{11}. و يتمّ حساب V بالعلاقة الرياضية التالية:

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a \times NA$$
$$\approx \frac{2\pi}{\lambda} a \times n1\sqrt{2\Delta}$$

حيث:

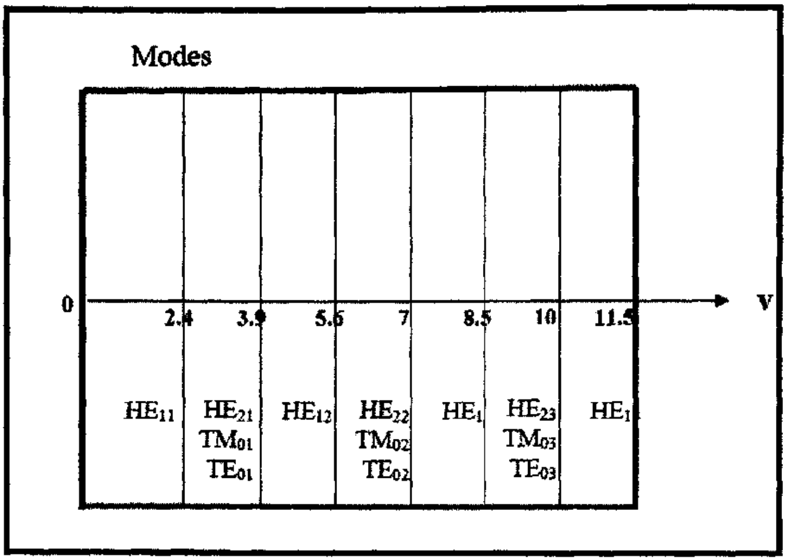
λ: الطول الموجي للإشارة المنقولة بالليف البصري.

Δ: الفرق النسبي بين معاملي انكسار الوسطين.

a: نصف قطر لب الليف البصري.

NA: قيمة النفوذية العددية.

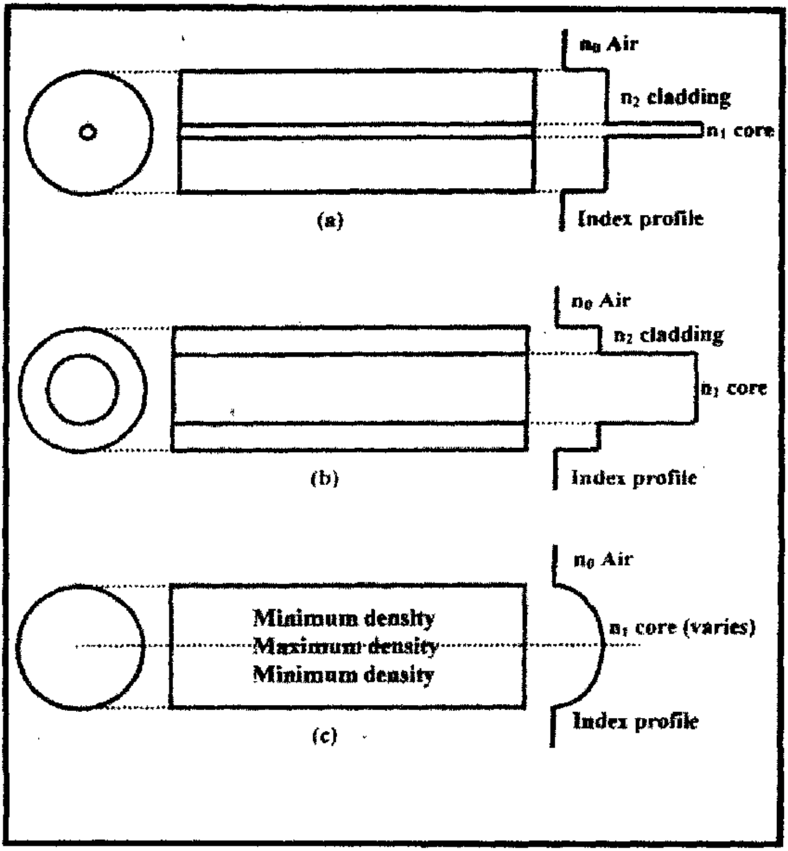
n1: معامل الانكسار للوسط الأول.



الشكل(3 – 21) انماط الانتشار في الليف البصري وفقا للتردد المعياري

2. شكل المعامل index profile:

شكل المعامل لليف البصري هي تمثيل بياني لقيمة المعامل الانكساري عبر الليف. يرسم المعامل الانكساري على المحور الأفقي، و ترسم المسافة النصف قطرية من لب الليف على المحور العمودي، الشكل (3 – 22) يبيّن شكل المعامل لثلاثة أنواع مختلفة من الألياف البصرية.



شكل(3 – 22) شكل المعامل لثلاثة أنواع مختلفة من الألياف البصرية

3. أنواع الألياف الضوئية وخصائص الإرسال:

1. انواع الألياف الضوئية:

تختلف تصنيفات الألياف البصرية باختلاف معيار المقارنة، فمن حيث مادة التصنيع، تتوافر حاليا ثلاث أنواع من الألياف البصرية، و هذه الأنواع تكون مصنّعة من الزجاج، أو البلاستيك، أو مركبّة من المادتين: الزجاج والبلاستيك، هذه الأنواع الثلاث هي:

أ. الألياف البلاستيكية (plastic fiber optics): يتكوّن لبّ و محيط الليف من مادة البلاستيك.

ب. الألياف الزجاجية (glass fiber optics): يتكوّن لبّ و محيط الليف من مادة الزجاج. و تسمى اختصارا SCS ((Silica-Clad-Silica.

ج. الألياف ذات اللب الزجاجي و المحيط البلاستيكي، و تسمى اختصارا PCS (Plastic-Clad-Silica).

للألياف البلاستيكية مميزات عدّة عن الألياف الزجاجية، هي:

1. الألياف البلاستيكية أكثر مرونة و صلابة من الألياف البصرية.
2. أسهل للتركيب، و افضل مع ضغط القوائم.
3. اقل تكلفة و أخف وزنا بحوالي 60% من الألياف الزجاجية.
4. الحجم الكبير نسبيا (نصف قطر 1mm)، مما يسهّل التعامل به.
5. فتحة النفوذ العددية العالية (NA=0.5).

من جهة أخرى للألياف البلاستيكية بعض الجوانب السيئة، هي:

1. خاصية التوهين العالي High Attenuation (>200 dB/Km)، فلا ينتشر الضوء بكفاءة كما في الليف الزجاجي.
2. الألياف الزجاجية محدّدة لمسافات صغيرة نسبيا، مثلا داخل مبنى معيّن أو مجمّع سكاني.

الألياف البصرية ذات اللب الزجاجي تظهر خاصية التوهين القليل. بشكل عام الياف PCS افضل بشكل طفيف من الياف SCS. تتأثر الياف PCS بالإشعاع بشكل أقل، و لذلك يفضّل استخدامه في التطبيقات العسكرية. لألياف SCS افضل خاصية انتشار، و هي أسهل في التعامل عند النهايات من الياف PCS. لكن، لسوء الحظ كوابل SCS اقل صلابة و قابلة لزيادة التوهين عند تعرضها للإشعاع.

إن اختيار نوع الليف البصري لتطبيق معيّن يعتمد على متطلبات النظام نفسه. للتطبيقات العملية يبقى هناك اعتبار للتكلفة المادية.

وإذا كان معامل انكسار لب الليف البصري (n) المعيار لتقسيم الألياف البصرية، فإنّنا نميّز نوعين منها:

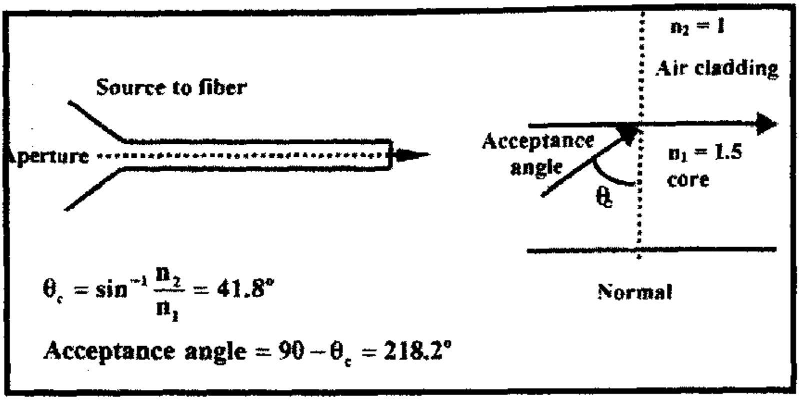
1. الياف ذات معامل انكسار عتبي step index fibers: يكون للبّ هذه الألياف معامل انكسار ثابت القيمة.
2. ألياف ذات معامل انكسار تدريجي graded index fibers: يختلف تركيز مادة لبّ الليف وبالتالي تتدرج قيمة معامل الانكسار داخله.

وإذا كان معامل نمط انتشار الضوء هو المعيار لتقسيم الألياف البصرية، فإنّنا نميّز نوعين منها:

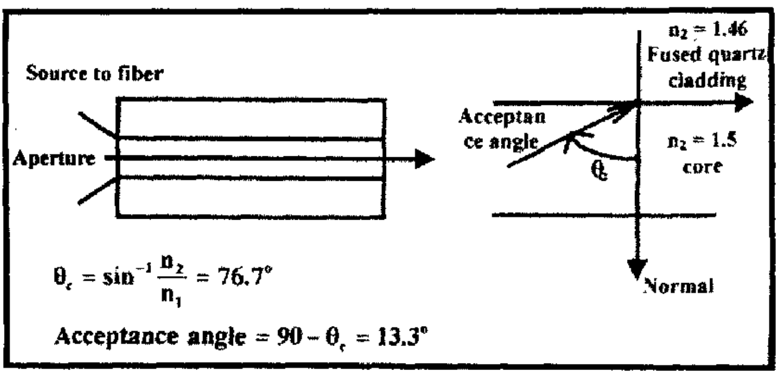
1. ألياف أحادية النمط single mode: ينتشر الضوء خلال هذا الليف في مسار واحد (نمط واحد فقط هو النمط HE_{11}).
2. ألياف متعدّدة الأنماط multimode: ينتشر الضوء خلال هذا الليف بأنماط عديدة (تصل إلى المئات).

بدمج المعيارين السابقين نلاحظ أن الليف أحادى النمط لا يمكن أن يكون ذو معامل انكسار تدريجي وإنّما يأتي فقط مع خاصية معامل انكسار عتبي. بينما يمكن أن يكون الليف متعدّد الأنماط ذو معامل انكسار عتبي أو تدريجي. و بالتالي نميّز ثلاث أنواع من الألياف البصرية:

1. الليف أحادى النمط ذو معامل الانكسار العتبي single mode step index. والشكل (3 – 23 a) يوضّح ليف أحادى ذو معامل انكسار عتبي و غطاء هوائي air cladding. والشكل (3 – 23 b) يوضّح ليف احادى ذو معامل انكسار عتبي و غطاء زجاجي glass cladding.

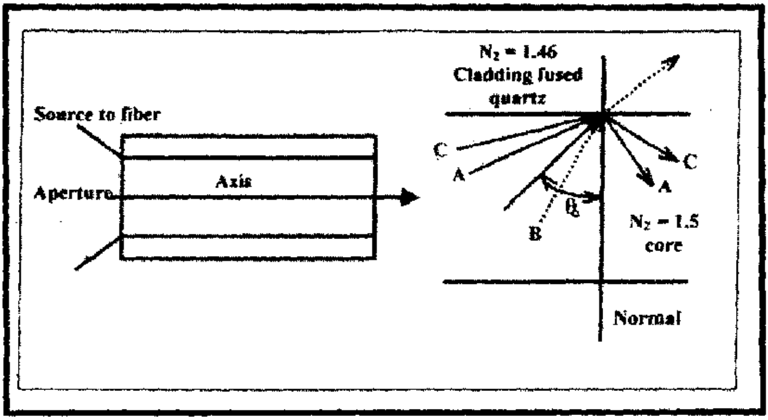


شكل(3 – 23 a) ليف احادي ذو معامل انكسار عتبي و غطاء هوائي

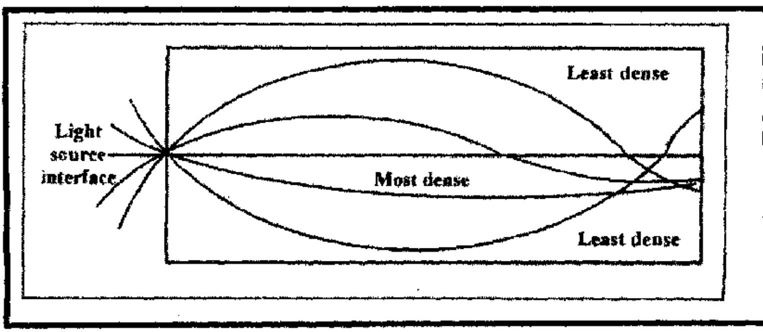


شكل (3 – 23 b) ليف احادي ذو معامل انكسار عتبي و غطاء زجاجي

2. الليف متعدّد الأنماط ذو معامل الانكسار العتبي multimode step index والموضّح في الشكل (3 – 24).
3. الليف متعدّد الأنماط ذو معامل الانكسار التدريجي multimode graded :index والموضّح في الشكل (3 – 25) حيث تختلف كثافة المادة فتكون أكثر كثافة most dense في الوسط (تبعا للشكل المعطى) واقل كثافة عند الحدود least dense.



الشكل (3 – 24)الليف متعدّد الأنماط ذو معامل الانكسار العتبي



الشكل (3 – 25) الليف متعدّد الأنماط ذو معامل الانكسار التدريجي

وعند مقارنة هذه الأنواع الثلاث نجد أنّ لكل منها خصائص مميّزة له ونقاط سيئة تحسب عليه.و في ما يلي شرح لهذه الميزات و السيئات.

6. أ. الليف الأحادي النمط ذو معامل الانكسار العتبي:

ا. الخصائص Advantages:

يتمتّع الليف الأحادي النمط ذو معامل الانكسار العتبي بعدّة مميّزات، منها:

1. أقل قيمة للتشتيت minimum dispersion. لان كل الأشعة تنتشر في الليف تقريبا في نفس المسار. إنّ نبضات الضوء الداخلة إلى الكيبل تنتشر في الكيبل، و في طرف الاستقبال يتم الكشف عنها بدقّة عالية.
2. له اكبر عرض نطاق higher Bandwidth. و اكبر معدّل إرسال بيانات higher information transmission rate.

ب. السيئات Disadvantages:

من جهة اخرى، لليف الأحادي النمط ذو معامل الانكسار العتبي سيئات، منها:

1. بسبب صغر اللبّ المركزي، من الصعب ربط الضوء منه و إليه. حيث أنّ فتحة النفوذ بين المصدر الضوئي و الليف صغيرة.
2. مرّة اخرى، بسبب صغر اللبّ المركزي، يتطلّب مصادر ضوئية ذات ضوء مركّز مثل الليزر لربط الضوء إليه.
3. هذه الألياف غالية الثمن، كما انّ تصنيعها صعب.

2. الليف متعدّد الأنماط ذو معامل الانكسار العتبي:

أ. الخصائص Advantages

يتمتّع الليف متعدّد الأنماط ذو معامل الانكسار العتبي بعدّة مميّزات، منها:

1. رخيص الثمن و سهل التصنيع.
2. من السهل ربط الضوء من و إلى الليف المتعدّد الأنماط.
3. فتحة النفوذ بين الليف و المصدر كبيرة نسبيا.

ب. السيئات Disadvantages:

من جهة أخرى، لليف متعدّد الأنماط ذو معامل الانكسار العتبي سيئات، منها:

1. الأشعة الضوئية تسلك عدّة مسارات داخل الليف البصري.
2. قيمة عرض النطاق و معدّل إرسال بيانات لهذا الليف أقل منها لباقي الأنواع.

3. الليف متعدّد الأنماط ذو معامل الانكسار التدريجي:

يتمتّع الليف متعدّد الأنماط ذو معامل الانكسار التدريجي بعدّة مميّزات، منها:

1. ربط الضوء من و إلى الليف أسهل منه في الليف الأحادي النمط، و لكنّه أصعب من الليف متعدّد الأنماط ذو معامل الانكسار العتبي.
2. التشوّه distortion الناتج عن تعدّد مسارات الانتشار في هذا الليف أكبر منه في الليف أحادي النمط، و لكنّه اقلّ من التشوّه في الليف متعدّد الأنماط ذو معامل الانكسار العتبي.
3. تصميم الليف متعدّد الأنماط ذو معامل الانكسار التدريجي أسهل من تصميم الليف الأحادي النمط، و لكنّه أصعب من تصميم الليف متعدّد الأنماط ذو معامل الانكسار العتبي.

6. ب. خصائص الإرسال Transmission Characteristics

نقصد بخصائص الإرسال لأنظمة الاتصالات البصرية العوامل التي تلعب دورا في أدائها و التي تحدّد معدّل نقل البيانات و أقصى مسافة للإرسال. و العاملين الذين يلعبان الدور الأكبر في هذا المجال هما : التوهين Attenuation، و التشتيت Dispersion.

التوهين Attenuation:

يصاحب انتشار الموجة في الليف البصري تناقص في مستوى الإشارة، ويسمى ذلك التوهين Attenuation.

وأهم أسباب التوهين (و التي سنتطرق لها بالتفصيل في موضوع خسارات الليف البصري):

1. الامتصاص: تعتمد قيمته على بنية لب الليف.
2. التناثر: تعتمد قيمته على تصنيع الليف و درجة نقاوته.
3. المشاكل الهندسية المسببة لخسارة الإشعاع: تعتمد قيمته على جودة تركيب الليف و ربطه.

التشتيت Dispersion:

يعدّ التشتيت من المشاكل التي تسبّب تشويه الإشارة (signal distortion) الرقمية أو القياسية، ويقاس التشتيت بوحدة الزمن للمسافة (ns/Km).

ويحدّد التشتيت عاملين مهمين لنظام الاتصالات البصرية، هما:

1. معدّل إرسال النبضات Bit Rate (BR)
2. اقصى مسافة للإرسال Maximum Transmission distance.

سنتحدث بالتفصيل عن التشتيت وأنواعه ضمن موضوع خسارات الليف البصري.

عرض النطاق لليف و معدّل المعلومات

Fiber Bandwidth and Information Rate

يعدّ عرض النطاق BW مقياسا لسعة نقل المعلومات في الليف البصري، فالنظام ذو عرض النطاق الكبير تكون له سعة كبيرة لنقل المعلومات، ويؤثر التشتيت في قيمة عرض النطاق، حيث يسبّب التوسع في عرض النبضات المرسلة خلال انتقالها في الليف الضوئي، مما يؤدي إلى حدوث التداخل بين النبضات المتجاورة و زيادة نسبة الخطأ في النبضات BER حيث يصعب على المستقبل التمييز بينها. و بالتالي تحدّد مسافة الإرسال و معدّله.

يقاس معدّل المعلومات في الأنظمة الرقمية بسرعة إرسال البتات Bit rate (BT)، وهو عدد البتات المرسلة في الثانية الواحدة. و يرتبط عرض النطاق طرديا مع معدّل المعلومات ولكن تختلف نسبة الارتباط باختلاف نوع التشفير المستخدم في النظام، مثال على ذلك، في نظام الشفرة غير العائدة للصفر NRZ تكون العلاقة: BW=BR، بينما تكون العلاقة W=BR/2 في نظام الشفرة غير العائدة للصفر RZ.

ويتم حساب أقصى سرعة إرسال للمعلومات بوحدة (bits/s) وفق العلاقة الرياضية التالية:

$$BR_{max} = \frac{0.2}{\sigma}$$

حيث:

σ: القيمة الفعالة (rms) لعرض النبضات عند نهاية الليف.

وتبيّن الشركات المصنعة للألياف البصرية قيمة حاصل ضرب (L×BW) ضمن مواصفات الليف و التي تحسب وفق العلاقة التالية:

$$BW \times L = \frac{0.2}{\sigma_T}$$

4. مكونات الكيبل الضوئي:

تتوفّر في الوقت الحالي انواع مختلفة من تصميمات الكوابل، و يضم الكيبل: اللبّ، الغطاء، القناة الحافظة، مخفّف الصدمات، عناصر الدعم، و غلاف حماية واحد أو أكثر.

إنّ تصميم الكيبل يعتمد على مواصفات الأداء المطلوبة للنظام، و على الظروف المحيطة و التكلفة المحدّدة، ويجب أن يوفر الكيبل الحماية اللازمة لليف البصري كونه صغير الحجم وقابل للكسر، وتأتي الكيبلات البصرية بمختلف انواعها باحد المجموعتين التاليتين:

1. الكيبلات الخارجية: التي تستعمل خارج المباني.
2. الكيبلات الداخلية: التي تستخدم داخل المباني.

1. الكيبلات الخارجية outdoor cables

هي الكيبلات الحافظة للألياف و التي تستخدم خارج المباني. و لا بد أن تتوفر في هذه الكيبلات الخصائص و الشروط التالية:

1. امكانية العمل في درجات الحرارة المتفاوتة.
2. مقاومتها لدخول الماء الى الليف و الذي يسبب زيادة الخسارات.
3. مقاومتها لتأثيرات اشعة الشمس فوق البنفسجية.

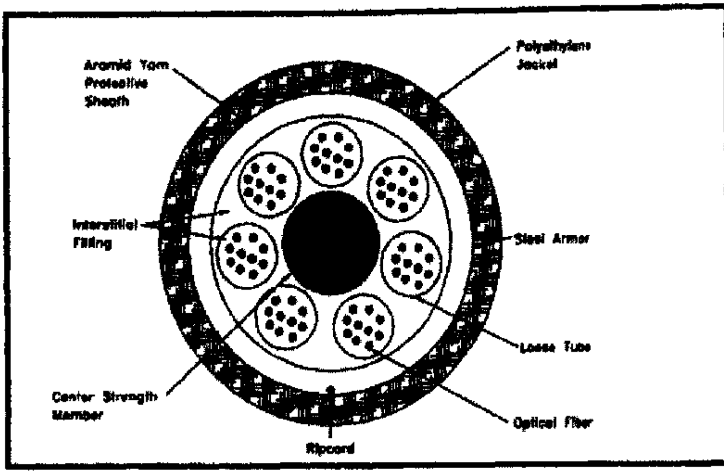
4. ملائمتها للعمل تحت الظروف الجوية الصعبة مثل الرياح أو التأثيرات الخارجية غير الطبيعية مثل التأثيرات الميكانيكية.
5. أن تتمتع بالمتانة و احتوائها على غلاف خارجي سميك و قوي (الدرع المعدني، الذي يشكّل طبقة معدنية تحت الغلاف).

ومن أنواع هذه الكيبلات:

1.1 الكيبل ذو الأنبوب الواقي Loose Tube Cable.
1.2 الكيبل شكل 8.
1.3 الكيبل ذو الشكل المعدني.
1.4 الكيبل الشريطي.

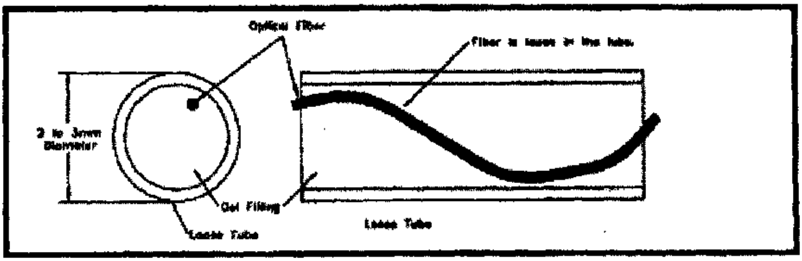
1.1 الكيبل ذو الأنبوب الواقي Loose Tube Cable

يتم وضع الألياف البصرية بشكل مجموعات داخل انابيب مفرغة داخل هذه الكوابل بحيث تكون حرة الحركة. يتم ترتيب الأنبيب بشكل هندسي حول قلب التقوية الذي يتوسط الكيبل كما هو موضح في الشكل (3 – 26).



شكل(3 – 26) الكيبل ذو الأنبوب الواقي

يتراوح قطر كل انبوب من هذه الأنابيب بين 2 mm و 3 mm و يمكن ان يحتوي بداخله على 12 ليف. غالبا ما يكون الانبوب الحاوي على الألياف مفرغا، ولكن قد يتم ملؤه بمادة جلاتينية مقاومة للماء والرطوبة، ونلاحظ من الشكل السابق عنصر التقوية (strength member) الذي يعمل على اعطاء الكيبل المتانة والدعامة التي يحتاجها الليف أثناء التمديد. و و يصنع عنصر الدعامة من المعدن أو مادة عازلة قوية أو مادة الكفلار. و الكفلار مادة تصنع على هيئة خطوط رفيعة جدا ولكنها ذات متانة و صلابة عالية جدا. أما الغلاف الخارجي للكيبل (jacket) فيصنع من البلاستيك أو المطاط. يتم غالبا اجراء قياس لطول الليف الموضوع داخل الأنبوب بحيث يكون أطول من الأنبوب نفسه كما هو موضح بالشكل (27 – 3).

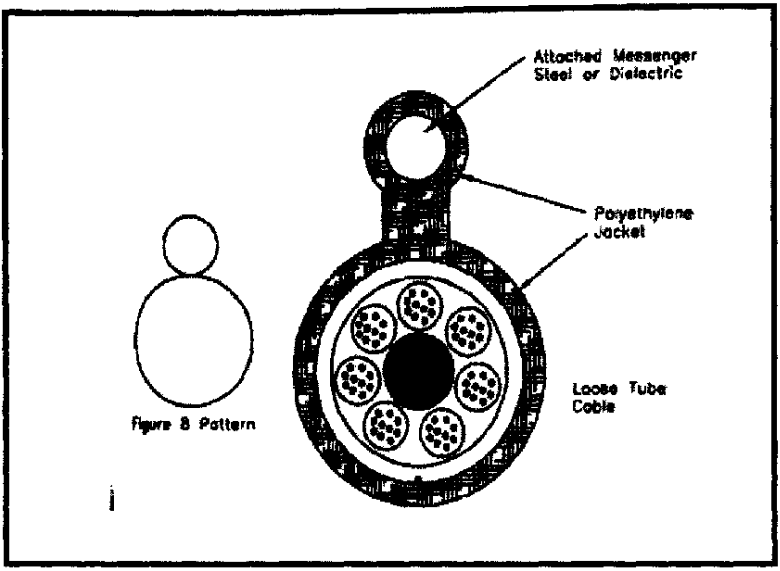


شكل(3 – 27) الليف الموضوع داخل الكيبل ذو الأنبوب الواقي

نظرا لعدد الألياف الكبير داخل الكيبل و الذي يصل الى 200 ليف فانه يلاحظ ألوان متعددة و ذلك لتسهيل التعرف على خط الاتصال خاصة عند أخذ القياسات.

1.2 الكيبل شكل 8:

من الشكل (3 – 28) والذي يوضح الكيبل البصري شكل 8 تستطيع معرفة سبب هذه التسمية و العائدة للمقطع العرضي لهذا الكيبل و الذي يشبه شكل الرقم 8. و يعود هذا الشكل الى أنبوب واقي يضاف الى الكيبل السابق في مرحلة التصنيع ويثبّت به، والاستخدام الرئيسي من هذا الانبوب الاضافي هو للتعليق مما يجعلة ملائم للتركيبات الهوائية.



شكل(3 – 28) الكيبل البصري شكل 8

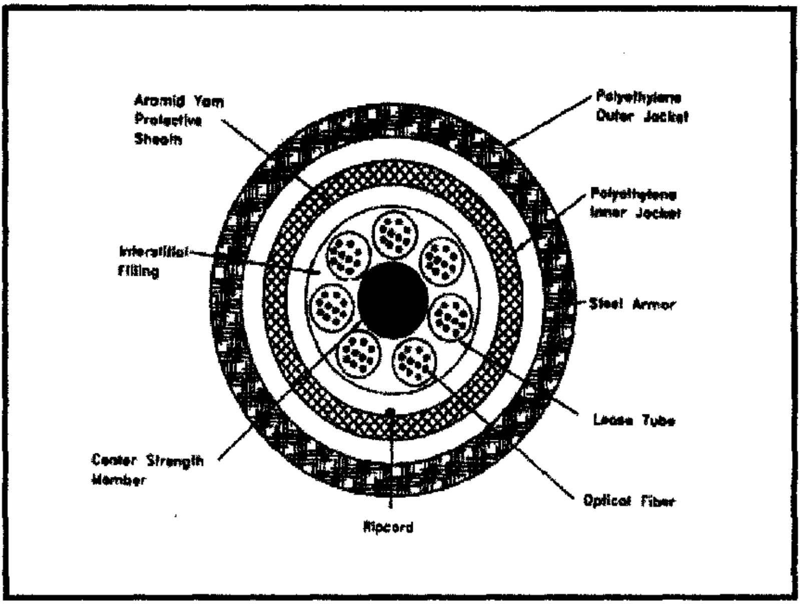
ويصنع هذا الحامل من معدن أو عازل، و لكن يتم احاطته بغلاف خارجي عازل كما هو الحال للكيبل الاساسي. و يتمتع هذا الحامل بمتانة عالية ليتحمل الثقل الناتج عن الحمل و الظروف الجوية المحيطة به في الهواء.

1.3 الكيبل ذو الدرع المعدني Armored cables:

تعود هذه التسمية لوجود طبقة معدنية تحت الغلاف الخارجي للكيبل و الموضحة في الشكل (3 – 29)، والوظيفة الرئيسية لهذه الطبقة اعطاء الكيبل الدعم و المتانة و زيادة مقاومتها للظروف الخارجية و حماية أعلى من تسرب الماء الى الألياف.

في حال وجود طبقتين معدنيتين تحت الغلاف الخارجي فيطلق على الكيبلات في هذه الحال اسم الكيبلات ذات الدرع المزدوج، و التي توفر المزيد من الدعم و الحماية للكيبل.

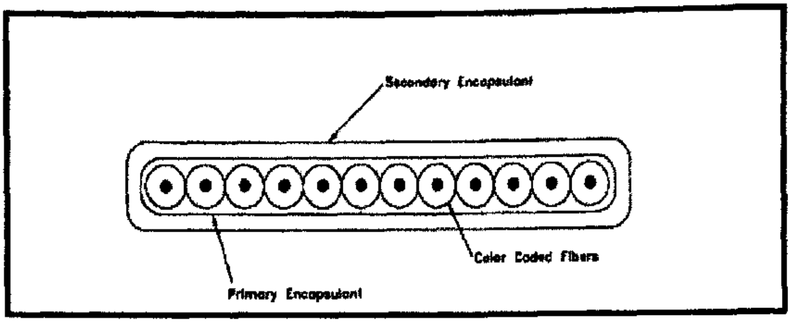
بينما يتم استخدام الكيبل شكل 8 في التركيبات الهوائية، فان الكيبل ذو الدرع المعدني يستخدم تحت الأرض أو المناطق الصناعية ذات الظروف الصعبة.



شكل (3 – 29) الكيبل ذو الدرع المعدني

1.4 الكيبل الشريطي Ribbon Cable:

يتم ترتيب الألياف البصرية بشكل صفوف مما يجعلها تشبه الشريط ribbon، و يحتوي الشريط الواحد على (12 – 124)ليف، ان عدد الألياف البصرية داخل الكيبل الشريطي كبير كما ان الوقت اللازم لتحضير و تجهيز الكيبل يكون قليل بالمقارنة مع غيرها من الكوابل، حيث يصل عدد الألياف البصرية في الكيبل الشريطي الى 800 ليف بنما يصل عددها الى 200 ليف في الكوابل الأخرى.



شكل(3 – 30) الشريط الليفي

يتمتع هذا النوع من الكيبلات بعدد من المزايا، منها:

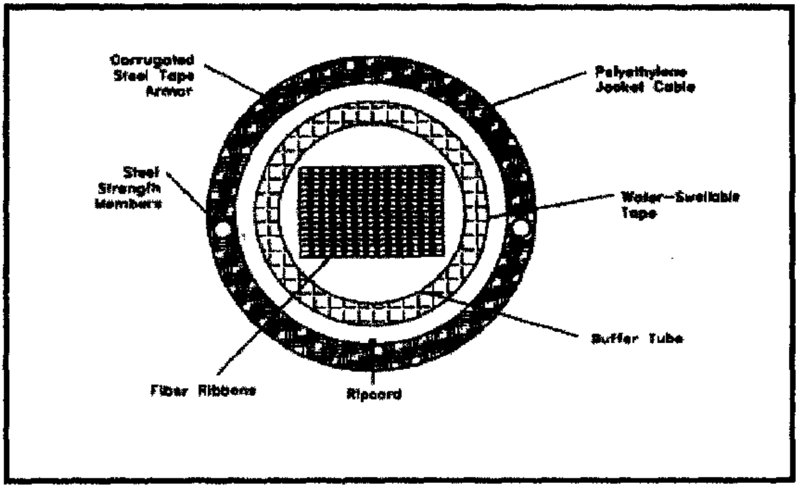
1. السعة العالية جدا، حيث يستطيع احتواء عدد كبير جدا من الالياف مقارنة مع غيره من الكوابل.
2. توفير الوقت و التكاليف الخاصة باللحام نتيجة اجراء اللحام لمجموعاد من الألياف سويا، الأمر الذي لا يمكن تنفيذه في الكوابل العادية.
3. امكانية الحصول على أطوال أكبر على البكرة الواحدة بسبب زيادة أعدا الالياف البصرية في الكيبل الواحد (يمكن تجميع نفس العدد من الألياف باستخدام كيبل بقطر أصغر).

ولكن لهذا النوع من الكوابل عدد من الميزات السلبية، منها:

1. تتطلب نوع خاص من أدوات اللحام الجماعي و بالتالي تدريب خاص للفنيين على هذا النوع.
2. تتطلب خزائن لتثبيت و حفظ الكيبل الشريطي في مناطق اللحام.

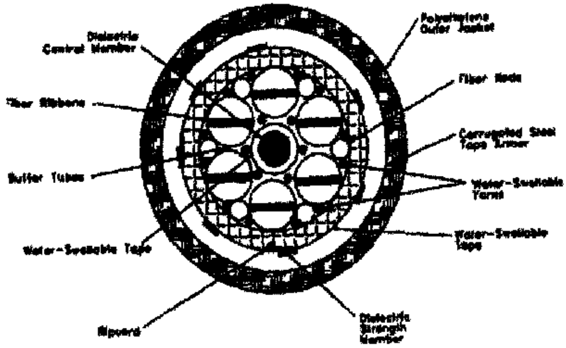
ويشكل رئيسي يوجد نوعين رئيسين من الكوابل الشريطية، هي:

1. الكيبل الشريطي ذو التصميم المركزي single central tube، ويوضح الشكل (3 – 31) هذا النوع من الكوابل، حيث يتم تجميع الأشرطة التي تحتوي على الألياف كمجموعة واحدة في مركز الليف.



شكل(3 – 31) الكيبل الشريطي ذو التصميم المركزي

2. الكيبل الشريطي ذو الأنبوب الواقي **standard loose tube ribbon cable**. يتم في هذا النوع وضع كل شريط ليفي داخل أنبوب واقي ، و يتم ترتيب هذه الأنابيب بشكل هندسي حول عنصر الدعامة داخل الكيبل البصري كما هو موضح في الشكل (3- 32).



شكل (3 – 32) الكيبل الشريطي ذو الانبوب الواقي

3. الكيبلات الداخلية: indoor cables

تستعمل هذه الكيبلات داخل المباني و بالتالي فانها تواجه ظروف اقل شدة من تلك التي تواجهها الكيبلات الخارجية. و بالتالي ليس من الضروري أن تتمتع بنفس المتانة العالية التي تتمتع بها الكيبلات الخارجية. و بالرغم من ذلك، لا بد ان تتوفر فيها الشروط التالية:

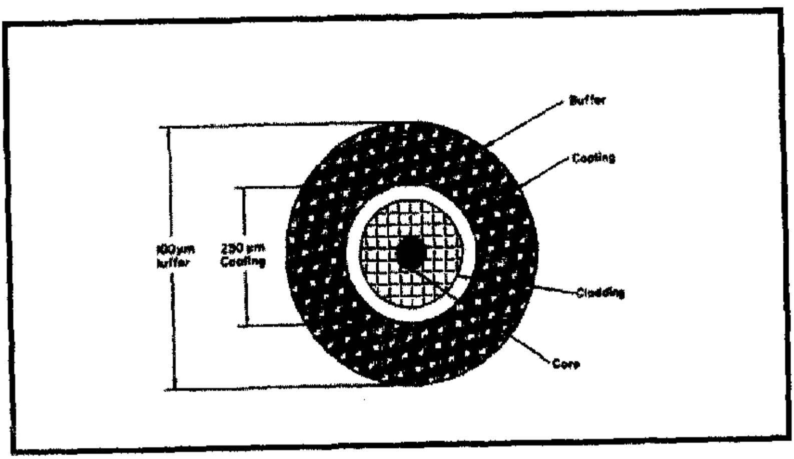
1. أن توفر الحماية الضرورية للالياف البصرية من العوامل الخارجية خلال التركيب و أثناء العمل
2. ان تتوفر فيها المرونة العالية لتسهيل التركيب و التوصيل.
3. أن تطابق المواصفات و المقاييس المعتمدة للمباني و المنشآت في البلد المعني و ضمن شروط التطبيق المطلوب.

يوجد نوعين من الكوابل الداخلية هما:

1. **الكيبل ذو الغلاف الواقي الضيق tight buffered cable:**

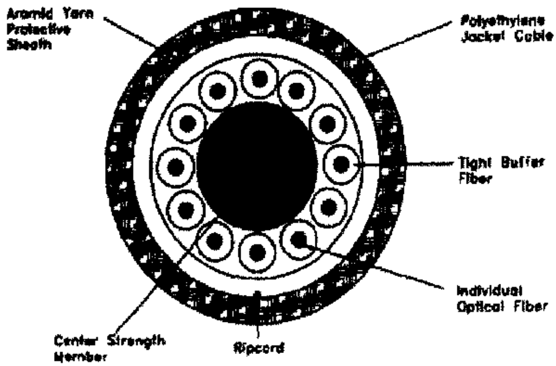
يتم تصنيع الغلاف الواقي من البلاستيك، و يوضع فوق الليف البصري مباشرة ليوفر له الحماية من العوامل الخارجية و ليعطيه الدعامة المطلوبة، يبلغ قطر الليف البصري مع طبقة الغلاف الواقي الضيق 900µm والذي يحيط بغلاف أولي قطره 250µm والشكل (3 – 33) يوضح ذلك.

يتم ترتيب الألياف حول عنصر الدعامة الذي يتوسط الكيبل بحيث تحاط بطبقة وقاية و فوقها طبقة الغلاف الخارجي كما هو موضح في الشكل (3 – 34).



شكل(3 – 33) مقطع عرضي لليف بصري ذو غلاف واقي ضيق

من الجدير بالذكر أن الكيبل ذو الغلاف الواقي الضيق أكثر مرونة من الكيبل ذو الأنبوب الواقي حيث له نصف قطر انحناء أقل، من جهة أخرى فان سعر الأول أعلى من سعر الثاني.

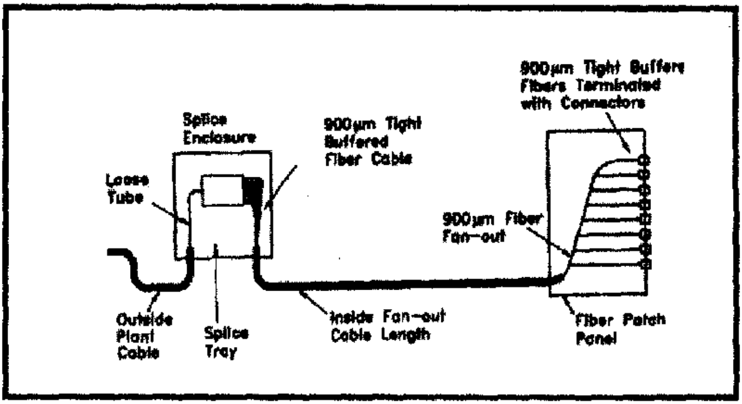


شكل (3 – 34) الكيبل البصري ذو الغلاف الواقي الضيق.

2. الكيبل المربوط مع الوصلات Fan-Out cable:

هو كيبل ذو غلاف واقي ضيق ذو نهاية طرفية لكل ليف مربوطة مع وصلة connector يتم تجهيزها بتقنية مصنعية عالية، و الشكل (3 – 35) يوضح هذا النوع من الكوابل.

ويختلف قطر الغلاف الواقي باختلاف الاستخدام، حيث يكون قطر الغلاف الواقي 900µm عند استخدامه في خزائن التوزيع، بينما يكون القطر 3000µm عند استخدام الكيبل للتوصيل مع الاجهزة و المعدات.



شكل (3 – 35) الكيبل المربوط مع الوصلات

وصلات القياس البصرية Fiber Optic Patch Cords:

يتم عادة استخدام وصلات قياس (jumpers) لاجراء القياسات المختلفة. و تكون هذه الوصلات بأشكال ومقاسات مختلفة، والوصلة عبارة عن قطعة من الليف البصري ذات طول يتراوح بين متر و5 امتار، تكون هذه الوصلات بلون أصفر (للغلاف الخارجي) وتحتوي على ليف بصري واحد، او بلون برتقالي و تحتوي على زوج من الألياف البصرية.

تستخدم الوصلة لربك الاجهزة مع بعضها البعض أو لربط الاجهزة الى الليف البصري.

الكيبلات الأخرى:

يوجد أنواع أخرى من الكوابل ذات استخدام خاص، منها:

الكيبلات البحرية:

يتم استخدامها تحت الماء حيث تتحمل الضغط العالي و لها مقاومة عالية جدا ضد تسرب الماء و تحتاج لقوة شد عالية لسحبها.

الكيبلات الهوائية ذات التثبيت الذاتي:

هي عبارة عن كيبلات من النوع ذو الأنبوب الواقي مزودة بعنصر تقوية متين و غلاف خترجي قوي، فلا يلزم حامل لتثبيت الكيبل. و يستخدم في الأماكن ذات الضغط الكهربائي العالي. و تتحمل هذه الكوابل الظروف الجوية الصعبة.

الكيبلات الصناعية Industrial cables:

يمكن استخدام الكوابل الاعتيادية في المنشآت الصناعية و لكن تستخدم معها مواد عازلة كهربائية بما في ذلك عنصر الدعامة لمنع حدوث تداخل كهرومغناطيسي أو تماس كهربائي.

كيبلات الاتصالات العسكرية Military communication cables:

تحتاج التطبيقات العسكرية كيبلات ذات متانة و تحمل أعلى من الكيبلات المستخدمة في التطبيقات المدنية بسبب الظروف الجوية الصعبة التي تحيط بها، لذلك تحتوي هذه الكوابل على طبقات حماية أكثر و ذات جودة أعلى.

كيبلات الاستخدام الخاص special purpose cable:

يتم تصنيع بعض الكوابل لتخدم غرض خاص مثل نقل الكهرباء في نفس الكيبل مما يتطلب اضافة أسلاك نحاسية.

تواجه الكوابل البصرية بانواعها المختلفة مشاكل مختلفة مثل تسرب المياه و الرطوبة، الصدأ، القوارض و غيرها. و يتم معالجة كل من هذه المشاكل بزيادة طبقات الحماية و استخدام المواد الخاصة.

4. طرق التعديل في الاتصالات الضوئية:

لا تشكل انظمة الاتصالات البصرية استثناء عن باقي أنظمة الاتصالات من حيث ضرورة اجراء عملية التعديل modulation. و المعلومات في نظام الاتصالات البصرية يأخذ شكل الضوء، و بالتالي لا بد من طريقة فعّالة لتعديل هذا الضوء و تهيئته لغرض الارسال. ففي الانظمة ذات السرعات المتوسطة يعتبر التعديل المباشر direct modulation هو اسلوب التعديل الأفضل، و يتم هذا التعديل من خلال تغيير تيار الحقن injunction current الداخل الى مصدر الضوء بغض النظر عن نوعه (سواء كان LED أو LASER).

اما في الأنظمة ذات معدّل السرعات العالية جدا (1 Gbit/sec) فلا يبقى التعديل المباشر الأسلوب الأفضل ، و يعود ذلك للأسباب التالية:

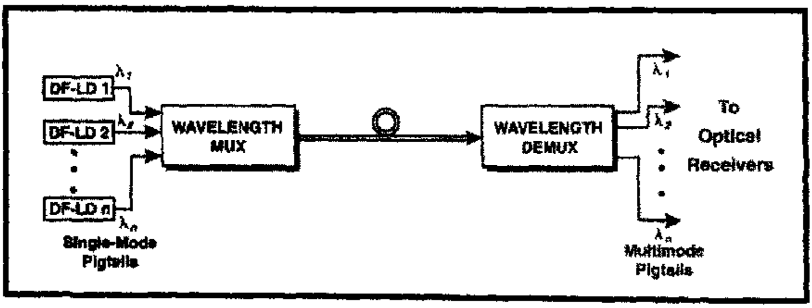
1. القدرة الخارجة المحدودة limited output power.
2. سرعة التعديل المحدودة limited modulation speed.
3. العلاقة المحدودة بين قدرة الصفر و الواحد on-off ratio.
4. التأثيرات اللاخطية nonlinear effects.
5. الازاحة الترددية frequency chirp.

ونتيجة هذه الأسباب يتم اجراء التعديل بجهاز تعديل منفصل عن المصدر الضوئي، و تسمى هذه العملية بالتعديل الخارجي external modulation. والتعديل الكهروضوئي (electro-optical modulation) هو من أكثر أنواع التعديل الخارجي انتشارا.

5. التجميع الموجي للحزم الضوئية

يتم في نظام الاتصال بالألياف البصرية تجميع القنوات بالتقسيم الموجي Wavelength Division Multiplexing (WDM). حيث يقوم المجمّع multiplixer بتجميع القنوات بأطوال موجية مختلفة و من ثميتم ارسالها من خلال ليف بصري واحد، و يساعد هذا التجميع على الاستغلال الأمثل لعرض النطاق الترددي المخصص لكل ليف.

من جهة أخرى يقوم الموزع demultiplixer بعكس عمل المجمّع، حيث يقوم بتوزيع أطوال الموجات المرسلة في الليف الواحد الى ألياف فرعية كل منها بحسب وجهته (جهة الاستقبال الخاصة به)، فيقوم الموجّه router بتوجيه كل طول موجي حامل لمعلومات معينة الى لليف بصري معين دون غيره، والشكل (3 – 36) يوضّح التجميع الموجي في نظام الاتصال البصري.



شكل (3 – 36) نظام WDM في النقل البصري

وكما ذكرنا سابقا، فان المجمّع من نوع الاضافة و الاسقاط add/drop multiplixer يوفّر امكانية اضافة او اسقاط قناة معينة في النظام القياسي (أو حزمة من النبضات في النظام الرقمي) في نقاط معينة في النظام.

كما تقوم المصافي filters بتمرير طول موجي معيّن و حجب اطوال موجية اخرى في جهة المستقبل، حيث تتمّم عمل الموزّعات.

6. المصادر و الكواشف الضوئية:

المصادر الضوئية:

ان المعلومات المرسلة ذات طبيعة كهربائية، فلا بد من تحويلها الى اشارة ضوئية لنتمكن من ارسالها عبر الألياف البصرية، و هذا هو عمل المصدر الضوئي light source، ولا بد أن يتم مراعاة بعض العوامل عند اختيار نوع المصدر الضوئي، وهي:

1. انتاج الطول الموجي الملائم للارسال عبر الألياف البصرية و للتطبيق المطلوب.
2. انتاج قدرة ارسال عالية (بالـ mwatt) للتمكن من ارسال الاشارة لمسافات طويلة.
3. لا بد أن يكون عرض النطاق الإشعاعي أقل قيمة ممكنة للحد من قيمة التشتيت.
4. تحسين ايصال الضوء الناتج من المصدر الى داخل الليف البصري من خلال تصغير المساحة الاشعاعية للضوء المولّد.
5. الثبات و الاستقرارية في القدرة الناتجة، الطول الموجي و عرض النطاق الاشعاعي.
6. توفير سعة عالية من المعلومات و سرعة تعديل عالية.
7. بساطة الدوائر الكهربائية المرافقة للنظام.
8. التكلفة المنخفضة

وهناك نوعان أساسين للمصادر الضوئية: Light Emitting Diode (LED) و Laser Diode (LASER)، ومن ايجابيات الليزر:

1. توفير قدرة اشارة عالية.
2. عرض الطيف الاشعاعي الصغير جدا(1nm لليزر مقابل عرض اشعاعي من 20nm الى 50nm للثنائي الباعث للضوء LED) مما يقلل من قيمة التشتيت.
3. زمن الاستجابة القليل مما يسبب السرعة العالية.

اما سلبيات الليزر فهي:

1. جهد الانحياز العالي مقارنة بالـ LED.
2. تكلفتها العالية.

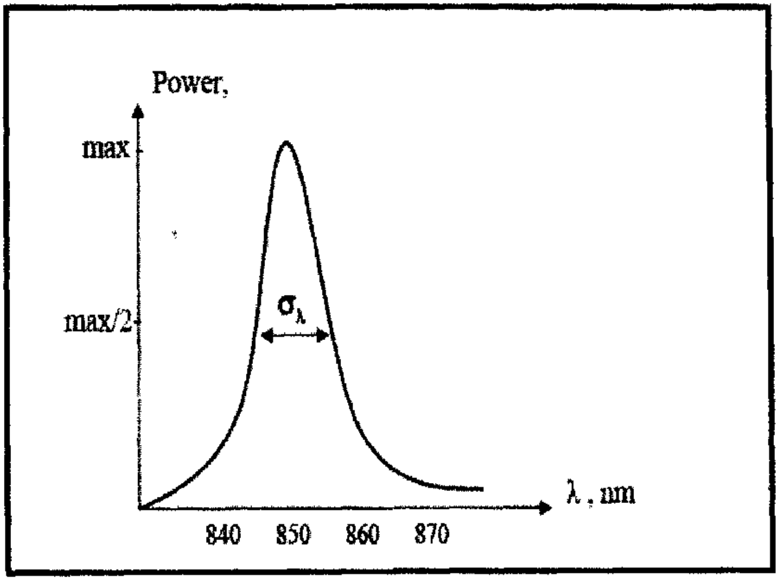
من جهة اخرى للثنائي الباعث للضوء LED مميزات خاصة به، هي:

1. انخفاض التكلفة.
2. جهد الانحياز القليل.
3. التصنيع البسيط.
4. الاعتمادية العالية.
5. التأثر القليل بدرجات الحرارة.
6. العلاقة الخطية بين القدرة و التيار.
7. الدوائر الالكترونية البسيطة.

والاطوال الموجية المستخدمة في انظمة الاتصالات البصرية هي:

1. 850 nm و تمتاز هذه الانظمة بالبساطة و التكلفة القليلة.
2. 1300 nm و يوفر اقل قيمة تشتيت.
3. 1550 nm تمتاز انظمته بالتكلفة العالية و لكنه يوفر اقل توهين ممكن.
4. 650 nm و هو المفضل في الاستخدام مع الألياف البلاستيكية.

من المصطلحات المهمة عند الحديث عن المصادر الضوئية هي العرض الاشعاعي σ_λ للضوء المولّد من المصدر والذي يحدد كما هو مبيّن في الشكل (3 – 37).



شكل (3 – 37) العرض الاشعاعي σ_λ للضوء الناتج من المصدر الضوئي

فعند توليد ضوء بطول موجي 850 nm فان الضوء المتولد لن يساوي هذا الرقم بالدقة المتناهية و انما يتراوح حوله بقدرة أقل، و تكون القدرة العظمى عند الطول الموجي المطلوب. و يعتمد الطول الموجي للضوء الناتج على:

1. مادة صنع المصدر (نوع شبه الموصل المستخدم في التصنيع).
2. تركيب و بناء المصدر الضوئي.
3. ظروف التشغيل.

وكما ذكرنا سابقا، تشعّ الذرّات من المصدر الضوئي بطاقة معيّنة. يسبّب ذلك تغيير مستوى الطاقة للإلكترون من مستوى معين إلى آخر، و ذلك بامتصاص الطاقة الضوئية، عند الانتقال من مستوى طاقة إلى آخر، تمتص الذرّة حزمة من الطاقة تسمى الفوتون photon، وتتناسب طاقة الفوتون طرديا مع تردد الضوء المنبعث وفق العلاقة الرياضية التالية:

$$E_p = h \times f$$
$$= h \times \frac{c}{\lambda}$$

وتختلف طاقة الفوتون (أو طاقة الثغرة) باختلاف مادة صنع المصدر كما هو موضح في الجدول (3 – 3)، و بالتالي يختلف الطول الموجي للضوء الصادر منه.

جدول (3 – 3) طاقة الثغرة و الطول الموجي لبعض المواد شبه الموصلة المكونة للمصدر الضوئي.

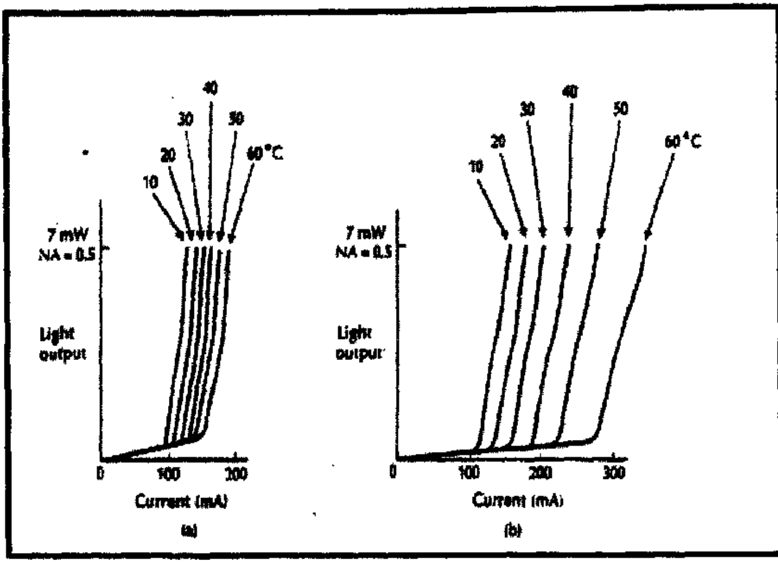
الطول الموجي Wavelength [µm]	طاقة الثغرة Energy Gap [e.v]	المادة Material
1.107 µm	1.12	السيليكون
1.850 µm	0.67	الجرمانيوم
0.867 µm	1.43	GaAs
1.329 µm	0.933	AlGaAs
1.3 µm	0.9538	InGaAs
1.55 µm	0.8	InGaAsP

ويعد الثنائي الباعث للضوء LED من المصادر الواسعة الانتشار قليلة التكلفة والبسيطة التركيب، وهي مستخدمة في الاتصالات المحلية (LAN)، وتتعامل مع الأطوال الموجية 850nm و 1300nm والطول الموجي 650nm (للألياف البلاستيكية).

أما ثنائي الليزر، (و يأتي هذا المصطلح اختصارا للعبارة Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation LASER)، فيعني تضخيم الضوء عن طريق الانبعاث الاشعاعي المحفّز، وهو يختلف عن LED من حيث طريقة انبعاث الضوء، حيث يتم تكبير الفوتونات المتولدة داخل الليزر بعد تحفيزها، ولتحقيق ذلك لا بد من توفر أمرين: ووجود مصدر تحفيز، و توفير عرض ضيق لحصر الفوتونات لزيادة احتمالية تصادمها. ولأن الانبعاث في LASER محفّز (على عكس الانبعاث في LED والذي يكون تلقائي)، و بالتالي فان عدد الفوتونات المولدة في الليزر يككون أكبر بكثير و بقدرة خارجة عالية و عرض اشعاعي ضيق.

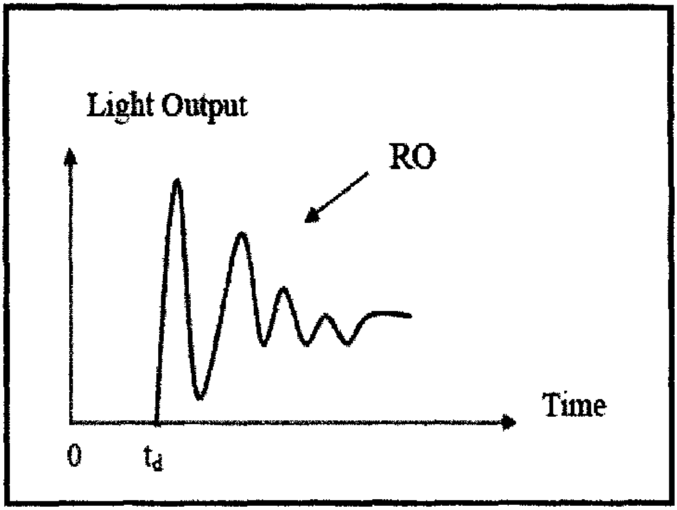
ومن خصائص الليزر:

1. الكفاءة الكمية العالية: و التي يقصد بها عدد الفوتونات المتولدة داخله.
2. ازدياد قيمة تيار العتبة بازدياد درجة الحرارة، و تيار العتبة هو الحد الأدنى لتيار الداخل لديود الليزر ليشغله بشكل صحيح، فان كانت قيمة التيار الداخل اليه أقل من تيار العتبة فان الليزر يعمل كثنائي ضوئي عادي (LED)، والشكل (3 – 38) يوضح تيار العتبة لليزر.



شكل(3 – 38) تغير تيار العتبة نتيجة تغير درجة الحرارة

3. الازاحة الترددية: في حالة الليزر أحادي النمط تحصل ازاحة ديناميكية للنمط بعد اجراء التعديل المباشر لليزر فيزداد العرض الاشعاعي لليزر.
4. الاستجابة الديناميكية: قدرة الضوء في بداية تشغيل الليزر لا تكن مستقرة حيث يظهر تأخير زمني و تذبذب في عمله كما هو موضح في الشكل (3 – 39).



شكل(3 – 39) التذبذب في بداية عمل الليزر

الكواشف الضوئية:

باستخدام المصادر الضوئية يتم تحويل المعلومات الى اشارات ضوئية ترسل عبر اللي البصري، وفي جهة المستقبل لا بد من اعادة هذا الضوء الى الاشارة الكهربائية المكافئة له، و هذا هو عمل الكاشف الضوئي optical photodetector، وبالتالي فان لها عمل معاكس لعمل المصادر الضوئية.

وكما هو الحال مع المصادر، فان الكواشف لا بد أن تتمتع بعدة مواصفات منها:

1. التكلفة المنخفضة.
2. بساطة الدوائر الالكترونية المصاحبة.
3. الاستقرارية في الأداء و زمن الاستجابة القصير.
4. الكفاءة الكمية العالية.
5. اقل مستوى تشويش ممكن.
6. جهد الانحياز القليل.

7. صغر الحجم.
8. الاعتمادية العالية (عمر افتراضي طويل).

ومن أنواع الكواشف الضوئية:

1. الثنائي الضوئي من نوع PN:

يمتاز هذا الكاشف بالبساطة و التكلفة المنخفضة. و يتكون من وصل PN موصولة بجهد انحياز عكسي مما يؤدي الى انتاج أزواج من الشحنات الكهربائية عند امتصاص الفوتونات الساقطة عليه. و لا يستخدم هذا النواع في الاتصالات البصرية و انما نجده في الاستخدامات المنزلية (في أجهزة التحكم عن بعد).

2. الثنائي الضوئي من نوع P-I-N:

هو تطوير للثنائي PN، حيث توجد منطقة من مادة شبه موصل تقريبا نقية (intrinsic) تتوسط المنطقتين P و N. و توفر هذه المنطقة امتصاص اعلى للفوتونات و بالتالي كفاءة كمية أكبر و سرعة استجابة اعلى.

3. الثنائي الضوئي الجوفي Avalanche Photodiode (APD):

وهو مشابه للثنائي P-I-N و لكن يختلف عنه في نوع المواد المستخدمة للتصنيع و بنيته الأساسية. و مبدأ عمله يوضح على النحو التالي: عند ارتفاع جهد الانحياز العكسي (يتراوح بين 50 v الى 400v) يزداد المجال الكهربائي في منطقة الوسط (المنطقة النقية)، فاذا وصل المجال لقيمةعالية جدا (حوالي 10^5 v/cm) اكتسبت الشحنات الكهربائية طاقة تولّد شحنات جديدة. و تتكرر هذه العملية مما يسبب تكبير يسمى التكبير الجرفي (تصل قيمته الى 200 مرة).

ومن مساوئ هذا النوع من الكواشف مستوى التشويش العالي المصاحب له وحساسيته للتغير في درجة الحرارة.

4. الترانزيستورات الضوئية:

الترانزيستور الضوئي عبارة عن ترانزيستور يتم التحكم بتياره من خلال الضوء المسلّط عليه، ولغرض تقليل مستوى التشويش عندما تكون القدرة منخفضة يتم تصنيع الترانزيستور على هيئة دوائر متكاملة، وتختلف معطيات الترانزيستور باختلاف مادة صنعه كما هو موضّح في الجدول (3 – 4).

جدول (3 – 4) معاملات الترانزيستور باختلاف مادة شبه الموصل المصنّع منها

Material المادة			النوع	الوحدة	الرمز	المعامل
InGaAs	Ge	Si	Type	Unit	Symbol	parameter
1.0 – 1.7	0.8 – 1.8	0.4 - 1.1		nm	λ	الطول الموجي
0.5 - 0.95	0.8 – 0.87	0.4 - 0.45	P-I-N	A/W	R	الاستجابية
60 - 70	50 - 55	75 - 90	P-I-N	%	η	الكفاءة الكمية
10 - 40	50 - 200	-	APD	-	M	التكبير البرقي
1 – 20 1 - 5	50 - 500 50 - 500	1 – 10 0.1 - 1	P-I-N APD	nA	I_d	التيار المظلم
0.0025- 40 1.5 – 3.5	0 - 0.0015 1.5	0.125 - 1.4 -	P-I-N APD	GHz	BW	عرض النطاق
0.155 – 53 2.5 - 4	- -	0.01 -	P-I-N APD	Gbit/s	BR	معدل البتات
5 - 6 20 - 30	6 - 10 20 - 40	50 - 100 200 - 250	P-I-N APD	V	V	جهد الانحياز

وتعرف هذه المصطلحات على النحو التالي:

الكفاءة الكمية: نسبة عدد الالكترونات الخارجة من الكاشف الى عدد الفوتونات الساقطة عليه.

الاستجابية: نسبة التيار الخارج من الكاشف الى القدرة الضوئية الداخلة اليه.

زمن الاستجابة: الزمن الذي يحتاجه الكاشف ليحوّل القدرة الضوئية الى تيار كهربائي.

جهد الانحياز: الجهد (العكسي) الأدنى اللازم لتشغيل الثنائي بشكل ملائم.

5. أنواع الخسارات في الألياف الضوئية:

تعدّ خسارات النقل في كوابل الليف البصري واحدة من أهمّ خصائص الليف. تحدث الخسائر في الليف نتيجة انخفاض قدرة الضوء، و لذلك ينخفض عرض نطاق النظام system band width، معدّل نقل المعلومات information transmission rate، الكفاءة efficiency، و السعة الكلية للنظام capacity.

سنجد من أنواع الخسارات أنّ الفقد الحاصل في الليف البصري يعتمد على عدة عوامل منها:

1. نوع الليف المستخدم في النظام (أحادي أو متعدد النمط).
2. ظروف التشغيل والتركيب والربط.
3. تقنية التصنيع لليف البصري.
4. مادة صنع الليف و نسبة نقائها.
5. الطول الموجي، وجد أن اقل فقد يحدث للموجات ذات الأطوال الموجية (λ=1550 nm ،λ=1300 nm ،λ=850 nm) و تسمّى هذه الأطوال بالنافذة الأولى والثانية والثالثة على التوالي، تستخدم الأولى للأنظمة للمسافات القصيرة ومعدّلات البث المنخفضة. بينما تستخدم الثانية والثالثة لأنظمة الاتصالات البصرية للمسافات الطويلة ومعدّلات البث العالية، يحدث اقل توهين للنافذة الثالثة و قيمته 0.2 dB/Km.

الخسارات الغالبة في الليف هي:

1. خسارات الامتصاص Absorption losses.
2. خسارات التناثر (رالي) Rayliegh Scattering Losses.
3. خسارات الإشعاع Radiation losses.
4. التشتيت Dispersion.
5. خسارات الربط Coupling losses.

وفي ما شرح موجز لهذه الخسارات.

6. خسارات الامتصاص Absorption losses:

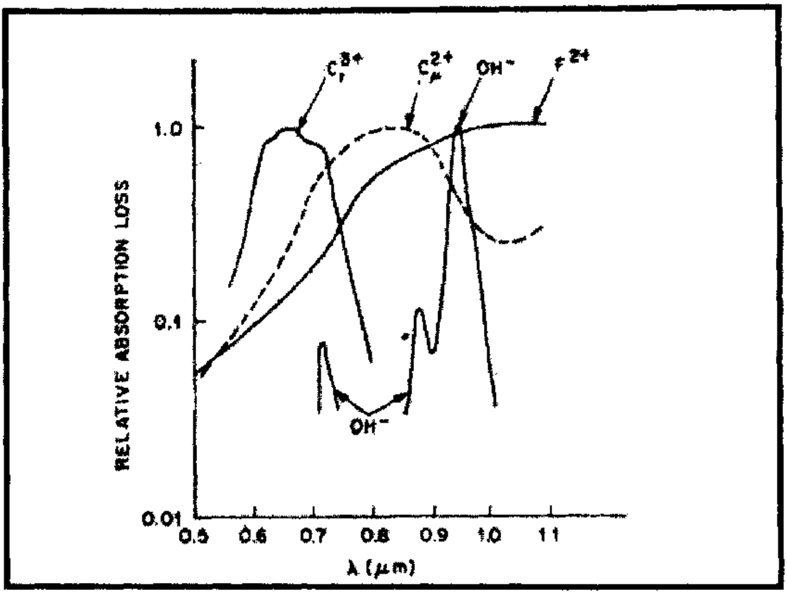
نتحدث عن خسارات التبديد في الكوابل النحاسية، في المقابل توجد خسارات الامتصاص في الألياف البصرية. تصنّع الألياف المصنوعة من الزجاج النقي بنسبة نقاء 99.99% (اي انّها لا تكون نقية بنسبة 100٪ و بالتالي فهي تحتوي على شوائب و لو بنسبة صغيرة جدا). لأطوال موجية معيّنة تمتصّ الشوائب الضوء في الليف و تحوّله إلى حرارة heat. تميّز ثلاث خسارات امتصاص في الليف الضوئي:

أ. امتصاص الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet absorption.
ب. امتصاص الأشعة تحت الحمراء Infrared absorption.

ان أعلى مستوى امتصاص يكون للأشعة فوق البنفسجية و تحت الحمراء. أما الضوء ذو الطول الموجي بين 0.8 µm و 1.6 µm والذي تعمل عليه الألياف الضوئية فان مستوى الامتصاص عندها يكون قليل جدا.

ج. امتصاص الرنين الأيوني Ion resonance absorption: بعض الشوائب تكون على شكل أيونات مثل أيونات الهيدروكسيل OH- ions والتي تمتص الضوء عند الأطوال الموجية التي يعمل عندها الليف، إنّ تعرّض الليف للماء

أو الرطوبة يزيد من هذا الامتصاص، والشكل (3 – 40) يوضّح العلاقة بين التوهين الناتج عن آيونات مختلفة وبين الطول الموجي.



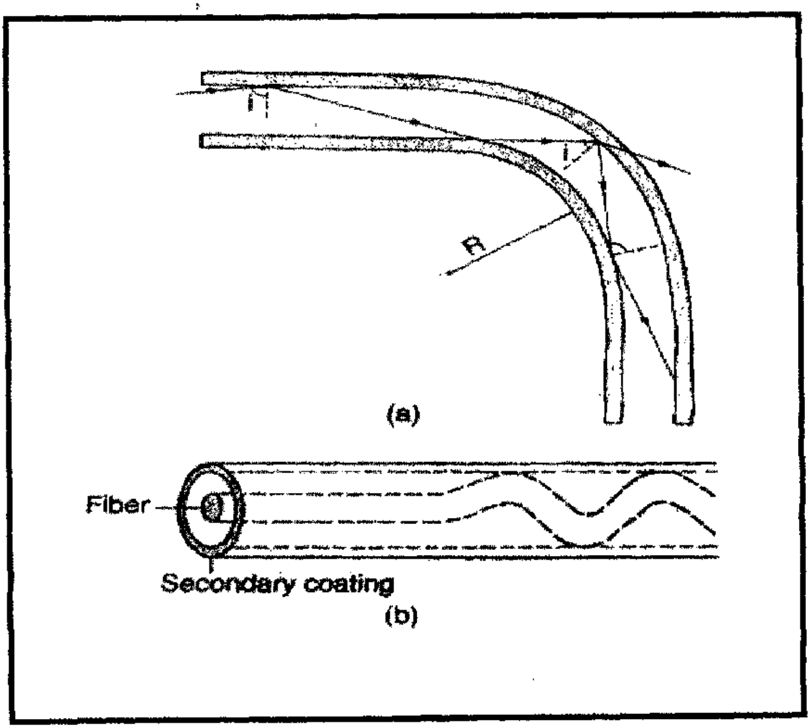
شكل (3 – 40) العلاقة بين التوهين الناتج عن آيونات مختلفة و بين الطول الموجي.

7. تناثر رالي Rayliegh Scattering Losses:

خلال عملية التصنيع، يسحّب الزجاج إلى ألياف طويلة بقطر صغير جدا. أثناء هذه العملية يكون الزجاج في حالة بلاستيكية (ليس بسائل أو صلب)، و يسبّب الشدّ المسلّط على الزجاج تكوّن انحرافات ميكروسكوبية بشكل دائم. إذا اصطدمت الأشعة المنتشرة في الليف بإحدى هذه الانحرافات فإنها تحيد عن مسارها. هذا الحيود diffraction بسبّب تناثر الأشعة في عدّة اتجاهات. بعض الأشعة المتناثرة تستمر بالانتشار في الليف، و البعض الآخر تتسرّب خلال الغطاء. الأشعة الضوئية المتسرّبة تمثّل الخسارة في القدرة الضوئية، و تسمّى بخسارة تناثر رالي. و يتناسب عكسيا مع λ^4 و لذلك يزداد تأثيره مع الضوء ذو الطول الموجي الأقصر.

8. خسارات الإشعاع Radiation losses:

تنتج خسارة الإشعاع عن المشاكل الهندسية geometric problems. عند ثني الليف، سواء أحادي النمط أو متعدد الأنماط، ستتسرّب بعض الطاقة من داخل الليف إلى الخارج (راجع الشكل (3 – 41a)، تزداد الطاقة الضائعة كلما قلّ نصف قطر تقوّس الانحناء، وتحدث خسارة كبيرة في الطاقة عندما يؤول نصف قطر التقوّس إلى نصف قطر الليف نفسه (الانحناءات الدقيقة) الموضّحة في الشكل (3 – 41b).



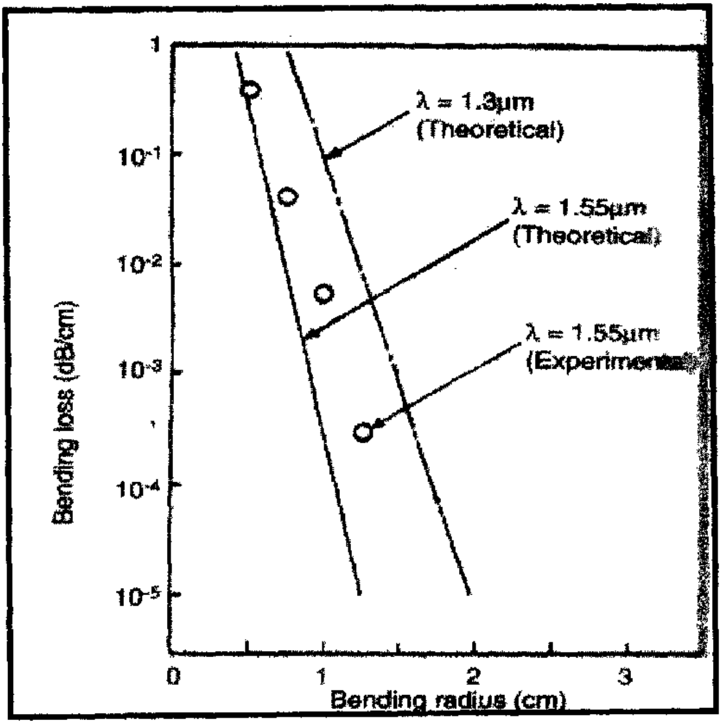
شكل (3 – 41)a) الانحناء أو التقوس الناتج عن التركيب الخارجي بنصف قطر تقوّس b R) الانحناء المايكروي داخل الليف البصري نفسه

تنتج خسارة الإشعاع عن الانحناءات و الثنيات في الليف البصري، في الأساس، يوجد نوعين من الانحناءات:

أ. الانحناءات الدقيقة (المايكروية) micro bends : تحدث هذه الانحناءات نتيجة الاختلاف في معدّلات الانقباض الحراري thermal contraction rates بين مادتي اللب و الغطاء للكيبل البصري. ينتج عن الانحناء الدقيق نقاط عدم اتصال في داخل الليف البصري حيث يمكن حدوث تشتّت رالي.

ب. الانحناءات ذات نصف القطر الثابت constant radius bends: تحدث الانحناءات ثابتة نصف القطر خلال التعامل مع الليف البصري و تحريكه و تركيبه، وإذا زادت عن قيمة معيّنة وفق المواصفات الخاصة بالليف سيؤدي ذلك إلى زيادة الفقد و ربما كسر الليف.

والشكل (3 – 42) يبيّن العلاقة بين خسارة الانحناء و نصف قطر الانحناء عند الأطوال الموجية (λ=1.31 µm, λ=1.55 µm). تعتمد هذه الخسارة على معامل الانكسار والطول الموجي المستخدم، قيمة خسارة الانحناء قليلة (اقل من 0.00001dB/Km) لنصف قطر انحناء يساوي 2cm. وإذا انخفض نصف القطر إلى 1cm ترتفع هذه الخسارة بشكل سريع.



شكل (3 – 42) العلاقة بين خسارة الانحناء و نصف قطر الانحناء عند الأطوال الموجية (λ=1.31 μm, λ=1.55 μm)

9. خسارات الوصل Coupling losses:

عند وصل الليف بمكونات أخرى بالنظام أو بليف آخر يجب أن تتم العملية بدقة، وإلاّ نتج عن عملية الوصل خسارة في الاشعاع، تحدث خسارات الوصل في الليف البصري عند أي من الوصلات البصرية التالية:

أ. الوصلة بين مصدر الضوء و الليف البصري.

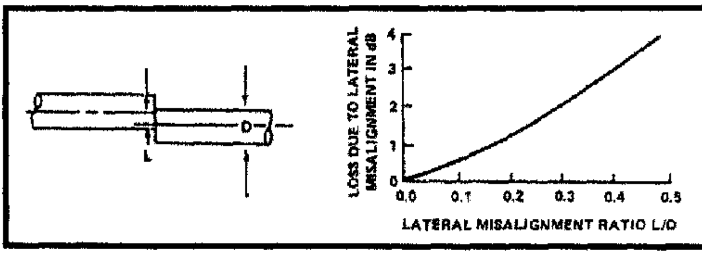
ب. الوصلة بين الليف البصري و كاشف الضوء.

ج. الوصلة بين ليف بصري و ليف بصري آخر.

يجب العمل على ان لا تزيد خسارة الوصل عن 0.1dB، و لكن نتيجة مشاكل الربط المختلفة يصبح تحقيق تلك القيمة مستحيلا، إنّ الظروف المحيطة بعملية وصل الألياف تلعب دورا في الخسارات خاصة إذا كان المحيط ترابي، حيث تعاد عملية الوصل عدة مرات لتحقيق أقل خسارة ممكنة.

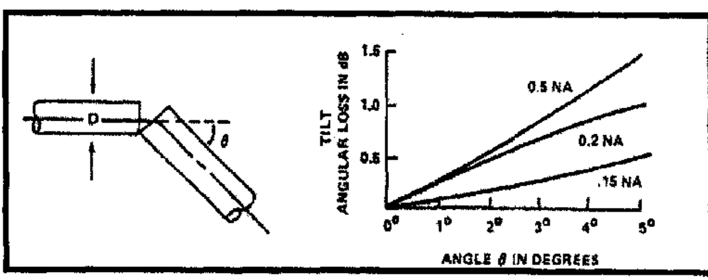
خسارات الوصل تنتج غالبا في هذه الوصلات لمشاكل الربط التالية:

أ. الإزاحة المحورية Axial displacement: يتمثل الخلل في الوصل بإزاحة محورية أو جانبية بين جهتي الربط مبيّنة في الشكل(3 – a43)، تزداد قيمة الخسارة بزيادة نسبة الإزاحة L إلى قطر الليف D.



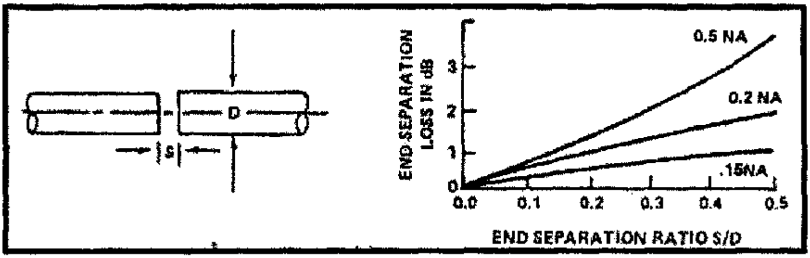
شكل (3 – a43) الإزاحة المحورية Axial displacement والخسارة الناتجة عنها

أ. الإزاحة الزاويّة Angular displacement: يتمثل الخلل في الوصل بإزاحة بزاوية لجهتي الربط مبيّنة في الشكل(3 – b43)، تزداد قيمة الخسارة بزيادة الزاوية.



شكل (3 – b 43) الإزاحة الزاويّة Angular displacement والخسارة الناتجة عنها

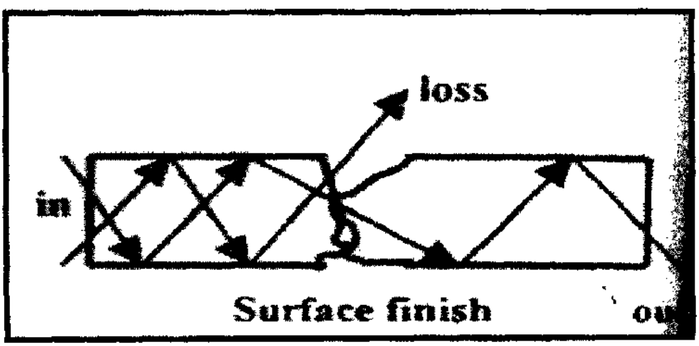
ب. الإزاحة الفراغية Gap displacement: إزاحة لجهتي الوصل ينتج عنها فجوة فراغية مبيّنة في الشكل(3 – c 43)، تزداد قيمة الخسارة بزيادة نسبة مسافة الفجوة S إلى قطر الليف D.



شكل (3 – c 43) الإزاحة الفراغية Gap displacement و الخسارة الناتجة عنها

نلاحظ في المنحنيات الثلاث السابقة أن الخسارة الناتجة عن مشاكل الوصل في الليف البصري متعدّد الأنماط (NA=0.2) أعلى من الخسارة الناتجة عن نفس المشكلة في الليف البصري أحادي النمط (NA=0.1).

ج. التشطيب غير المثالي للسطح imperfect surface finish و ينتج عن ذلك خسارة كما هو مبيّن في الشكل (3 – e 43).



شكل (3 – e 43)التشطيب غير المثالي للسطح imperfect surface finish

10. التشتيت Dispersion:

يعدّ التشتيت من أهم العوامل في أنظمة الاتصالات البصرية التي تحدّد كل من معدّل إرسال النبضات Bit Rate و اقصى مسافة للإرسال Maximum Transmission distance. حيث يسبّب التشتيت التوسع في عرض النبضات المرسلة خلال انتقالها في الليف الضوئي (شكل3 – 44)، مما يؤدي إلى حدوث التداخل بين النبضات المتجاورة و زيادة نسبة الخطأ في النبضات BER حيث يصعب على المستقبل التمييز بين النبضات. و بالتالي تحدّد مسافة الإرسال و معدّله. ويقاس التشتيت بوحدة الزمن للمسافة (ns/Km). و يتم حساب التشتيت لمسافة معينة بأنّه:

$$dispersion \approx \frac{\sqrt{t_2^2 - t_1^2}}{L}$$

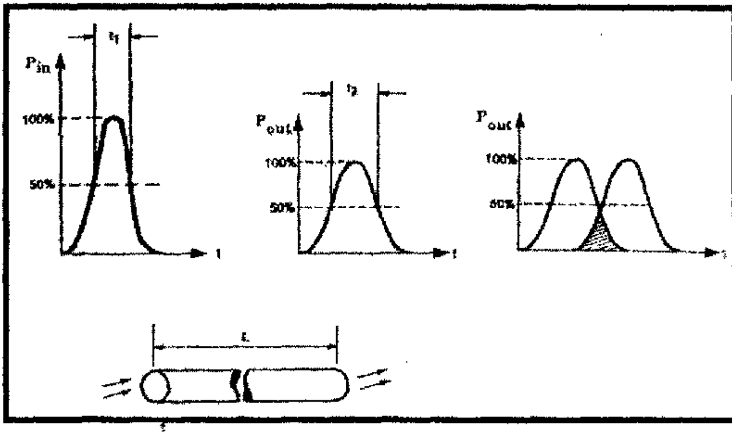
حيث:

t_2: عرض النبضة بعد مرورها بالليف البصري

t_1: عرض النبضة قبل مرورها بالليف البصري

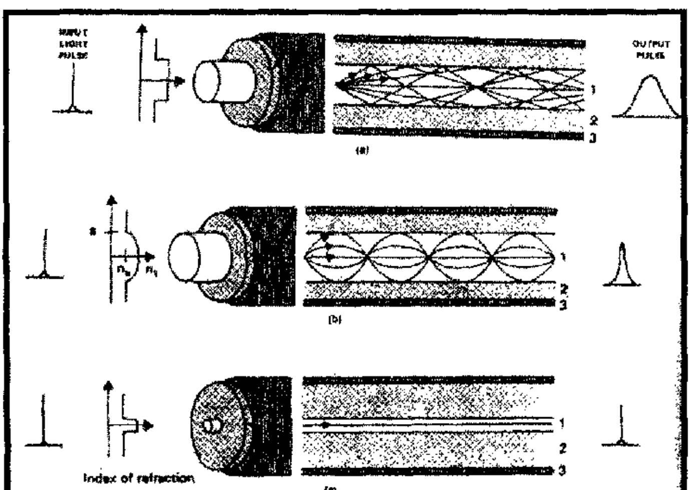
L: وحدة طول الليف البصري

و يقاس التشتيت بوحدة (ns/Km)



شكل (3 – 44) التوسّع في عرض النبضات عند مرورها بالليف البصري

ويختلف التشتيت باختلاف نوع الليف و نمط انتشار النبضات فيه كما هو موضّح في الشكل (3 – 45)، فملاحظ ان التوسع في النبضة يكون قليل جدا في الليف أحادي النمط (فرع c). بينما يكون اكبر قيمة له في الليف ذو معامل الانكسار العتبي (فرع a).



شكل (3 – 45) التشتيت في الليف ذو معامل الانكسار العتبي (فرع a) و في الليف ذو معامل الانكسار التدريجي (فرع b) و في الليف احادي النمط (فرع c).

تنقسم أسباب التشتيت إلى سببين رئيسين:

1. عرض النطاق لمصدر الإرسال: مصدر الضوء لا يبعث ضوء بتردد محدّد، بل يبعث ضوء بعرض نطاق ترددي صغير. مصدر الضوء laser له عرض نطاق اضيق من LED و بالتالي التشتيت اللوني chromatic الناتج عنه يكون أقل.
2. مواصفات الليف البصري المستخدم في الإرسال: انّ نوع الليف البصري المستخدم و مواصفاته تحدّد نوع التشتيت الناتج و مدى قيمته. فمثلا يختفي اثر التشتيت النمطي في الليف احادي النمط بينما تأثيره واضح في الليف ذو معامل الانكسار العتبي.

بناء على ذلك نميّز انواع من التشتيت في الليف البصري، هي:

أ. التشتيت النمطي Modal dispersion:

ويسمى أيضا بالتشتيت الضمني أو الداخلي (Intermodal dispersion) التشتيت النمطي أو الانتشار النبضي pulse spreading ينتج عن الاختلاف في زمن الانتشار للأشعة الضوئية التي تأخذ مسارات مختلفة خلال الليف، فيظهر هذا النوع من التشتيت في الألياف متعددة الأنماط فقط و لذلك يسمى أيضا بالتشتيت متعدد الأنماط (Multimode dispersion)، يمكن التقليل من هذا التشتيت بشكل ملموس (تنخفض أكثر من 100 مرة) باستخدام الليف ذو معامل الانكسار التدريجي graded index fiber. ففي الليف متعدّد الأنماط ذو معامل الانكسار العتبي يتم حساب القيمة الفعّالة (root mean square value) للتشتيت النمطي وفق العلاقة التالية:

$$\sigma_s = \frac{L \times n1 \times \Delta}{2\sqrt{3} \times c}$$

بينما في الليف متعدّد الأنماط ذو معامل الانكسار التدريجي يتم حساب القيمة الفعّالة (rms value) للتشتيت النمطي وفق العلاقة التالية:

$$\sigma_g = \frac{L \times n1 \times \Delta^2}{20\sqrt{3} \times c}$$

حيث:

L: طول الليف البصري بوحدة Km.

n1: معامل انكسار لب الليف البصري.

c: سرعة الضوء، $3*10^8$m/s.

Δ: الفرق النسبي بين معامل انكسار الوسطين.

σ_s: القيمة الفعّالة (rms value) للتشتيت النمطي في الليف متعدّد الأنماط ذو معامل الانكسار العتبي.

σ_g: القيمة الفعّالة (rms value) للتشتيت النمطي في الليف متعدّد الأنماط ذو معامل الانكسار التدريجي.

ويتم التخلص من هذا التشتيت كليا باستخدام الليف أحادي النمط ذو معامل الانكسار العتبي single mode step index fiber.

ب. التشتيت الباطني أو تشتيت اللون (Intramodal or Chromatic dispersion)

بينما يظهر التشتيت النمطي في الألياف متعددة الأنماط، فإنّ التشتيت الباطني يظهر في مختلف أنواع الألياف البصرية، وينقسم بدوره إلى قسمين:

1. تشتيت المادة (Material dispersion)

انّ معامل الانكسار لمادة ما هو عامل يعتمد على الطول الموجي. الوصلة الباعثة للضوء LED تبعث بضوء يحتوي على تركيبة من الأطوال الضوئية، كل طول موجي ضمن إشارة الضوء المركّبة ينتقل في الليف بسرعة انتشار مختلفة، وبالتالي، فانّ الأشعة الضوئية المنبعثة من المصدر والمنتشرة في الليف الضوئي لا تصل النهاية البعيدة منه في نفس الوقت، ينتج عن ذلك إشارة مشوّهة عند طرف الاستقبال، و يسمّى هذا التشوّه بالتشوّه الملوّن chromatic distortion، يمكن التقليل من تأثير هذا التشوّه باستخدام مصدر ضوئي احادي اللون (أحادي الطول الموجي monochromatic source) مثل وصلة الحقن بالليزر injection laser diode ILD.

يتم حساب القيمة الفعّالة لتوسّع النبضات الناتج عن تشتيت المادة وفق العلاقة التالية:

$$\sigma_m = M \times L \times \sigma_\lambda$$

حيث:

L: طول الليف البصري، وحدته Km

M: معامل تشتيت المادة (يعطى من ضمن مواصفات الليف)، وحدته ps/(nm.Km)

σ_m: القيمة الفعّالة (rmsvalue) لتوسّع النبضات الناتج عن تشتيت المادة.

σ_λ: العرض الطيفي للمصدر الضوئي، وحدته nm

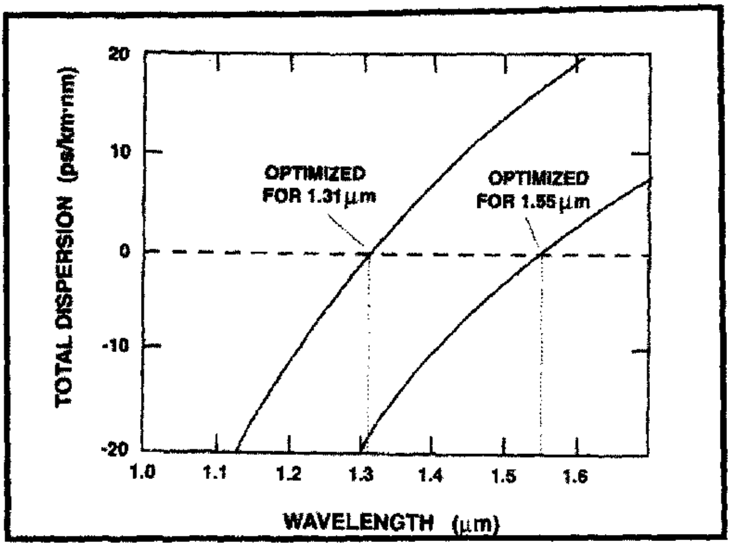
تشتيت المادة هو مربّع القيمة الفعّالة لتوسّع النبضات، اي انه يساوي σ_m^2

2. تشتيت الدليل الموجي **wave guide dispersion**:

بالرغم من اعتماد كل من تشتيت المادّة و تشتيت الدليل الموجي على الطول الموجي و العرض الطيفي، إلاّ أنّ قيمة التشتيت الأول قليلة مقارنة بالتشتيت الثاني. و هي قيمة ضئيلة جدا بالنسبة للألياف متعددة النمط، بينما تعطى ضمن المواصفات للليف أحادي النمط.

من الشكل (3 – 46)، نجد انّ التشتيت يزداد بزيادة الطول الموجي، و انّه يساوي صفر عند الأطوال الموجية (λ=1.31 µm, λ=1.55µm). فعند الطول الموجي λ=1.31 µm، يلغي تأثير تشتيت المادة تأثير تشتيت الدليل الموجي (حيث يتساويان في المقدار و لكن الأول موجب القيمة و الثاني سالب القيمة)، ولذلك يسمّى هذا الطول بالطول الموجي ذو التشتيت الصفري (zero dispersion wavelength).

يمتاز الطول الموجي λ=1.55 µm من حيث التوهين، و لذلك تم تصميم الياف بصرية بحيث يكون التشتيت لها صفري عند هذا الطول الموجي، وسمّيت بالألياف ذات التشتيت الصفري المزاح ((dispersion shifted fibers (DSF)).



شكل (3 – 46) التشتيت الكلي بالنسبة للطول الموجي

يحسب التشتيت الكلي (σ_T^2) لليف البصري بجمع قيم التشتيت المختلفة فيه. ففي الليف متعدّد النمط يكون:

$$\sigma_T^2 = \sigma_m^2 + \sigma_w^2 + \sigma_n^2$$

أمّا في الليف أحادي النمط فيختفي التشتيت الضمني، و بالتالي فانّ التشتيت الكلي يكون:

$$\sigma_T^2 = \sigma_m^2 + \sigma_w^2$$

حيث:

σ_T^2: التشتيت الكلي في الليف.

σ_m^2: تشتيت المادة.

σ_w^2: تشتيت الدليل الموجي.

σ_n^2: التشتيت الضمني، و يقصد بها σ_s^2 لليف ذو المعامل العتبي أو σ_g^2 لليف ذو المعامل التدريجي.

اسئلة الوحدة الثالثة:

1. ما هو نطاق الترددات البصرية؟
2. يقسّم طيف الترددات الضوئية إلى ثلاث نطاقات عامّة، ما هي؟
3. ما التردد المكافئ للأطوال الموجية التالية:

.(λ=850 nm, λ=1310 nm,, λ=1550 nm)

4. ما التردد المكافئ للون الأحمر؟
5. يمكن تمييز ثلاث مراحل لتطور تصنيع الألياف البصرية، ما هي؟
6. عدّد حسنات نظام الاتصال بالألياف البصرية
7. ما سبب كل مما يلي في نظام الاتصال بالألياف البصرية:

أ. سعة الإرسال الكبيرة.

ب. المناعة ضد تداخل الإشارات و التشويش الساكن.

ج. الأمان و السرية العالية.

د. التكلفة المنخفضة.

8. قارن من حيث معدّل الخطأ في النبضة بين:

أ. انظمة الميكروويف و الكيبلات المحورية.

ب. انظمة الأقمار الصناعية.

ج. انظمة الاتصالات البصرية.

9. ما مكونات المرسل في نظام الاتصالات البصرية و ما وظيفة كل جزء؟
10. ما مكونات المستقبل في نظام الاتصالات البصرية و ما وظيفة كل جزء؟
11. ارسم المخطط الصندوقي لنظام الاتصالات البصرية
12. ما عمل كل مما يلي في نظام التصالات البصرية:

أ. الوصلات و المجزءات البصرية.

ب. مجمّعات القنوات باستخدام التقسيم الموجي.
ج. المصافي البصرية.
د. محوّلات الطول الموجي.
ه. العوازل.
و. المفاتيح الضوئية.
ز. المستقطبات.
ح. المعدّلات الخارجية.

13. عدّد انواع المصافي البصرية
14. اين توجد العوازل في انظمة الاتصالات البصرية؟
15. ما المقصود بمعامل انكسار الوسط؟
16. كان تمّ إسقاط الشعاع الضوئي من الهواء الى الكوارتز بزاوية إسقاط 30o، جد قيمة زاوية الانكسار.
17. عرّف الزاوية الحرجة.
18. جد الزاوية الحرجة لإسقاط شعاع ضوئي من البلاستيك إلى الهواء. ثم جد:

1. زاوية الانكسار عندما تكون قيمة زاوية السقوط مساوية للزاوية الحرجة.
2. زاوية الانعكاس عندما تساوي زاوية السقوط 86 درجة.

19. على ماذا يعتمد التردد المعياري V؟
20. ليف بصري متعدّد الأنماط ذو معامل انكسار تدريجي مصنوع من لبّ من الديامونت $(n1=2)$ و غطاء من الكوارتز $(n2=1.46)$. جد قيمة الزاوية الحرجة (θc) . ثم جد قيمة النفوذية العددية NA. مع العلم انّ الوسط من المصدر إلى الليف هو الهواء.
21. ليف بصري متعدّد الأنماط ذو معامل انكسار تدريجي مصنوع من لبّ من الديامونت $(n1=2)$ و غطاء من الكوارتز $(n2=1.46)$. جد قيمة الزاوية الحرجة (θc) . ثم جد قيمة النفوذية العددية NA. مع العلم انّ الوسط من المصدر إلى الليف هو الهواء.
22. عرّف زاوية القبول و مخروط القبول.

23.ما أنماط الانتشار في الليف البصري اذا كان التردد المعياري له 3.42

24.ما المقصود بالنمط؟ و ما العوامل التي تحدد نمط الاننتشار في الليف البصري؟

25. عدّد تصنيفات الألياف البصرية من حيث:

أ. مادة التصنيع.

ب. نمط الانتشار.

ج. معامل انكسار اللب.

د. معامل انكسار اللب و نمط النتشار معا.

26.ما حسنات و سيئات كل من:

أ. الألياف البلاستيكية.

ب. الألياف الزجاجية.

ج. الألياف احادية النمط.

د. الألياف متعددة الأنماط.

27. اي الألياف البصرية هي الأقل من حيث التشتيت و ايها الأكثر؟

28. ما المقصود بخصائص الإرسال لأنظمة الاتصالات البصرية ؟

29. ما هو التوهين و ما أسبابه ؟

30. ما المقصود بالتشتيت؟ و ما وحدة قياسه؟

31. ما العلاقة بين التشتيت و معدّل ارسال النبضات و مسافة الارسال و عرض نطاق الليف البصري؟

32. يعتمد الفقد الحاصل في الليف البصري على عدة عوامل ، اذكرها.

33. ما افضل الأطوال الموجية للارسال في الليف البصري؟

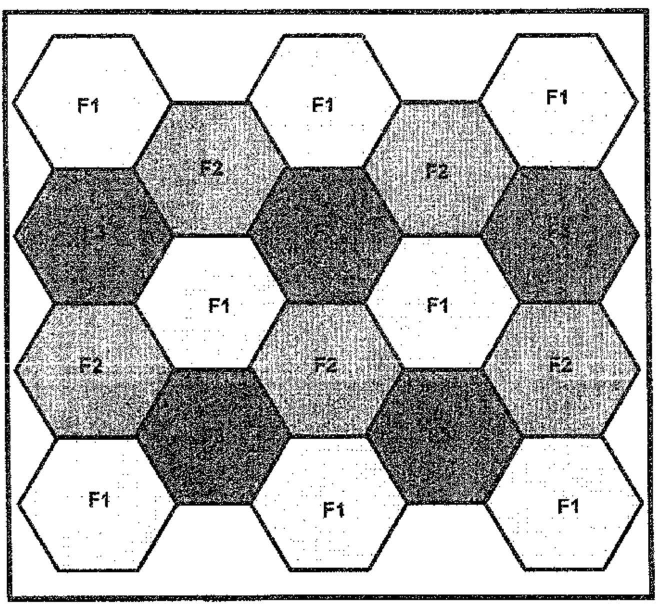
34. ما الخسارات الغالبة في الليف ؟

35. يمكن تمييز ثلاث خسارات امتصاص في الليف الضوئي، ما هي؟

36. ما العامل المسبب لخسارة الامتصاص؟
37. ما العامل المسبب لتناثر رالي ؟
38. ما العلاقة بين تناثر رالي و الطول الموجي للضوء المرسل؟
39. ما العامل المسبب لخسارة الاشعاع؟
40. يوجد نوعين من الانحناءات في الليف البصري، ما هي؟
41. أين تحدث خسارات الوصل في الليف البصري ؟
42. تنتج خسارات الوصل بسبب مشاكل في الربط، ما هي هذه المشاكل؟
43. أيهما اكبر، الخسارة الناتجة عن مشاكل الوصل في الليف البصري متعدّد الأنماط (NA=0.2) ، أم الخسارة الناتجة عن نفس المشكلة في الليف البصري أحادي النمط (NA=0.1)؟
44. تنقسم أسباب التشتيت إلى سببين رئيسين، ما هما ؟
45. يمكن أن نميّز انواع من التشتيت في الليف البصري، ما هي؟ و على ما يعتمد كل منها؟
46. ما الشروط الواجب توفرها في المصادر الضوئية؟
47. ما أنواع المصادر الضوئية و ما الفرق بينها ؟
48. ما أنواع الكواشف الضوئية و ما الفرق بينها ؟
49. تقسم الكوابل البصرية الى قسمين، ما هما و أين يستخدم كل منهما ؟
50. ما انواع الكوابل الخارجية؟
51. ما انواع الكوابل الداخلية؟
52. ما المشاكل التي يمكن ان تتعرض لها الكوابل البصرية؟

الوحدة الرابعة

نظام الخلايا ومكونات الشبكة



نظام الخلايا ومكونات الشبكة

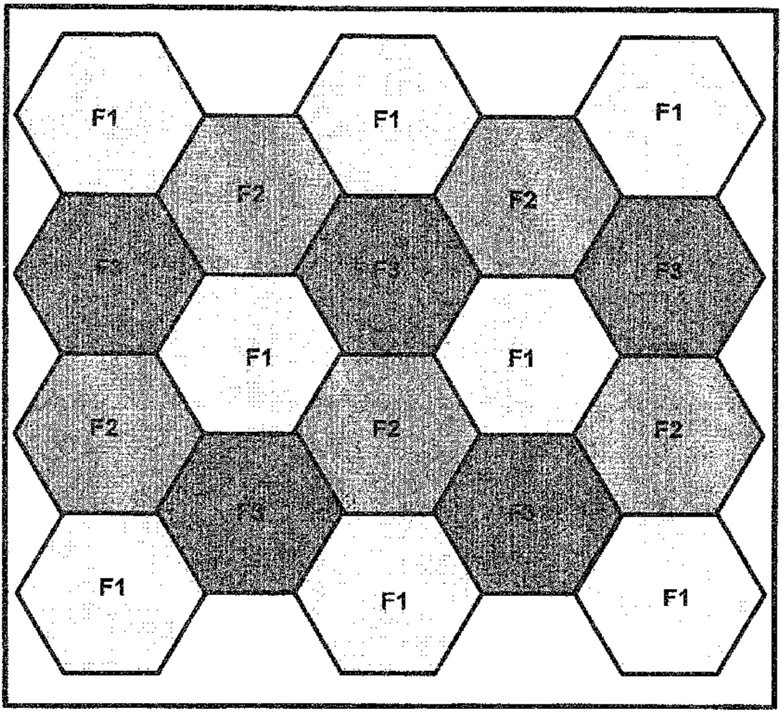
في فترة ما قبل السبعينات كان الهاتف الخلوي (المتنقل) حلما صعب التحقيق، وذلك لصعوبة تحديد تردد خاص لكل مشترك. إضافة إلى ارتفاع أسعار أجهزة الاتصالات اللاسلكية.

ونتيجة للتقدم الهندسي وتطور الدوائر المتكاملة (IC)، والقطع الالكترونية من ترانزستورات ومضخمات تشغيلية، إضافة إلى مبادئ الاتصالات الأساسية التي وفرت إمكانية تحديد تردد خاص لكل مشترك والتي ساهمت في تغطية عدد أكبر من المشتركين، في هذه الوحدة سيتم التعرف على كيفية استعمال هذه التقنيات والعملية المستخدمة.

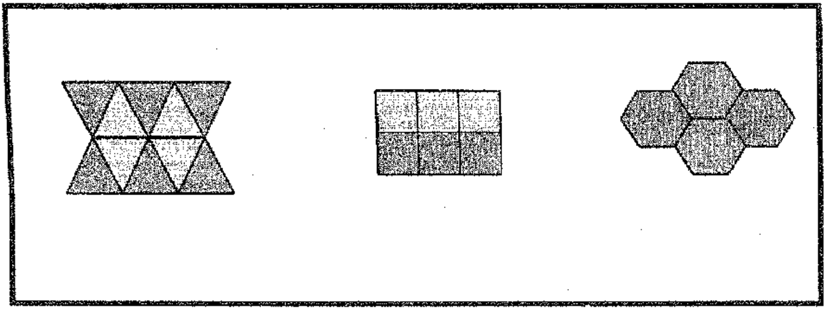
1.4. مفهوم نظام الخلايا ومكونات الشبكة:

مع بداية السبعينات تم تطوير الأجهزة اللاسلكية لتكون صغيرة الحجم والوزن وبسعر مناسب، وتمكنت هذه الأجهزة بالاتصال بالشبكة الأرضية لإجراء المكالمات والمحاسبة المالية عليها، ولعل أهم التقنيات المستخدمة لتغطية عدد أكبر من المشتركين تقنية تقسيم المكان إلى أكثر من جزء ليتم التعامل مع كل جزء من هذه الأجزاء على حدا وكأنها وحدة منفصلة عن الجزء الآخر، ويطلق على كل منها خلية "cell"، تحتوي كل خلية على محطة إرسال خاصة فيها لتغطية هذه المساحة وتأمين الاتصال مع المحطة الأرضية، وتستخدم كل من هذه المحطات ترددا خاصا في الخلية يختلف عن الخلايا المجاورة لها لضمان عدم التداخل فيما بينها، وبالرغم من ذلك تظهر مشكلة عدم توفر ترددات مساوية لعدد الخلايا المقسمة، وان تم تكبير حجم الخلايا ستظهر مشكلة التكلفة الاقتصادية لتقوية إشارة محطة الإرسال لتغطية المشتركين المتواجدين في الخلية، ولحل هذه المشكلة وبأقل تكلفة اقتصادية نستخدم تقنية إعادة استعمال التردد، وذلك عن طريق إعادة استعمال التردد عينه في الخلايا البعيدة عن بعضها لتجنب التداخل فيما بينها

كما في الشكل (4-1). ولنفس السبب (التكلفة الاقتصادية) تم اختيار الشكل السداسي للخلية كما في الشكل (4-2)، وذلك لتمكن من تغطية المنطقة بشكل تام وبأقل كلفة اقتصادية، فمثلا إذا تم اختيار شكل المثلث متساوي الأضلاع أو مربع، تتمكن هذه الأشكال من تغطية المنطقة بشكل تام ولكن بكلفة اقتصادية عالية ويعود ذلك إلى إرسال الإشارات الكهرومغناطيسية وتغطيتها للمنطقة ودراسة قوة الإرسال وتناسبها مع شكل الخلية وحجمها وغيرها.

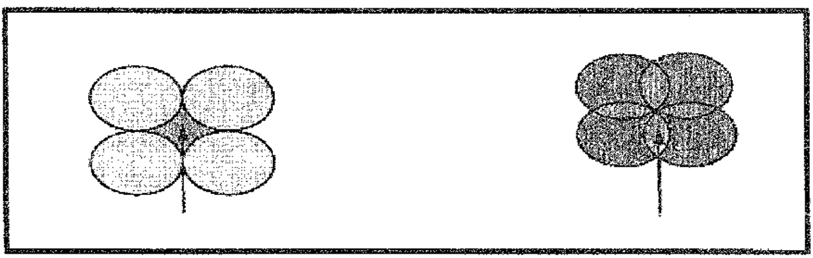


الشكل (4-1): توضيح كيفية إعادة استعمال التردد



الشكل (2-4) الخلايا ذات الشكل السداسي والمربع ومثلث متساوي الأضلاع

الشكل الدائري والذي يعتبر أكثر الأشكال سهولة ليس له القدرة على تغطية الخلية كاملة، بحيث تظهر بين الخلايا مناطق غير مغطاة من قبل أي خلية يطلق عليها مناطق ميتة كما هو الحال في يسار شكل (3-4)، أو مناطق بين الخلايا مغطاة من قبل أكثر من خلية بنفس الوقت كما هو الحال في يمين الشكل (3-4) و يتم صرف طاقة إرسال لهذه المناطق دون الحاجة لها.



الشكل (3-4) يوضح الشكل الافتراضي الدائري لخلية والمناطق المعادة تغطيتها والمناطق الميتة

وتزود كل خلية بمحطة للإرسال وهوائي (Antenna) ليقوم بتغطية الخلية بشكل كامل، ويختلف حجم كل خلية عن الأخرى بناء على عدد المشتركين والمساحة المتوفرة والطبيعة الجغرافية من حيث التضاريس والأبنية والشوارع وغيرها، وذلك لتغطية عدد أكبر من المشتركين:

1. خلية كبيرة:

يكون قطرها (80Km)، وتحتاج إلى طاقة عالية لتغطية المسافة جميعها، وتستخدم في المناطق الخارجية والساحلية، وتلبي خدمات واتصالات عدد قليل من المشتركين.

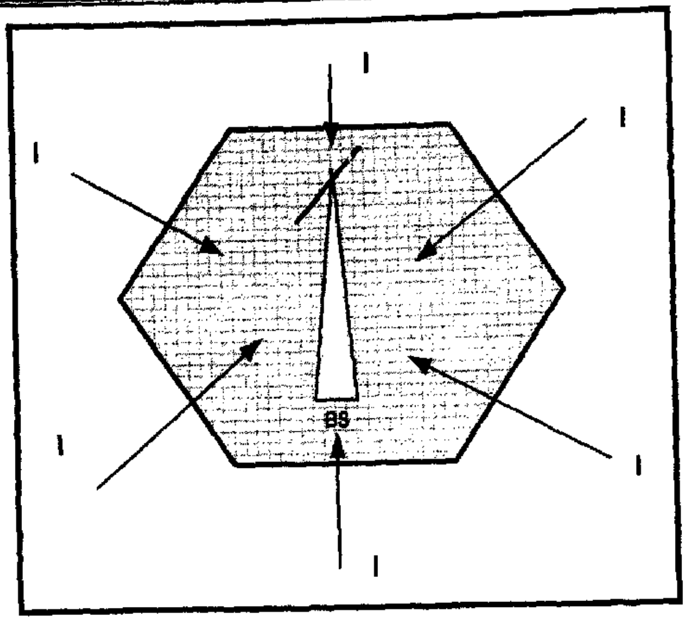
2. خلية صغيرة:

يصل قطرها إلى (200m)، وتستهلك طاقة اقل وتستخدم في المناطق التي تخدم عدد أكبر من المشتركين. وكلما زاد عدد المشتركين كلما صغر حجم الخلية.

ومن ناحية الإرسال لتغطية الخلية فتقسم إلى ثلاثة أقسام بناء أيضا على عدد المشتركين:

1. خلية بمقطع 360° (متعددة الاتجاهات):

تحتوي على هوائي واحد في الخلية وبذلك يرسل الهوائي في جميع الاتجاهات، ويغطي الخلية بشكل كامل،ويكون لها القدرة على تلبية المشترك من ستة اتجاهات كما هو موضح في الشكل (4-4)، وتظهر المشكلة في هذا النوع من التغطية عند ازدياد عدد المشتركين مما يتطلب تقليل حجم الخلية، وبذلك يفضل استخدامها لعدد المشتركين المحدود.



الشكل (4-4) خلية بتغطية متعددة الجهات

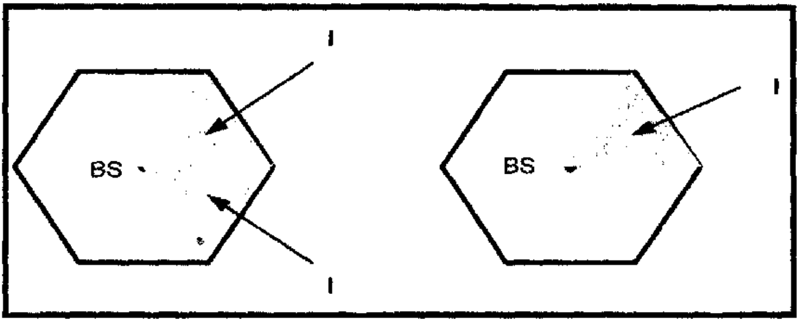
2. خلية بمقطع 120°:

في هذا النوع من التغطية يكون إرسال الخلية يغطي 120° من الخلية، اي تغطية ثلاث مداخل وكأنها تحتوي على ثلاث خلايا ثانوية وكل خلية ثانوية تحتوي على هوائي (مما يعني أنها تحتوي على ثلاث هوائيات)، الجزء اليمين من الشكل (4-5) يوضح تغطية الخلية، وتستطيع تلبية عدد مشتركين اكثر من خلية بمقطع 360.

3. خلية بمقطع 60°:

في هذا النوع من التغطية يكون إرسال الخلية يغطي 60° من الخلية، ، اي تغطية ستة مداخل وكأنها تحتوي على ست خلايا ثانوية وكل خلية ثانوية تحتوي على هوائي (مما يعني أنها تحتوي على ستة هوائيات)، الجزء الأيسر من

الشكل (4-5) يوضح تغطية الخلية، وتستطيع تلبية عدد مشتركين اكثر من خلية بمقطع 360 ومقطع 120، ولكن التكلفة الاقتصادية لها أعلى ويكثر استخدامها في المناطق التي تحتوي على عدد كبير من المشتركين.



الشكل (4-5) مقطع خلية "120" و الخلية "60"

1.1.4. مكونات الشبكة اللاسلكية:

الهدف الأساسي من إنشاء أي شبكة هو توفير الاتصال بين وحداتها لتأمين عملية الاتصال عن بعد كما هو الحال في الموبايل وفي البيجر (أجهزة النداء الآلي)، وللتعرف بشكل أكثر على كيفية عمل الشكة اللاسلكية لابد من التعرف على الأجزاء المكونة للشبكة اللاسلكية:

1. وحدة المشترك او الجهاز المتنقل (Mobile Station):

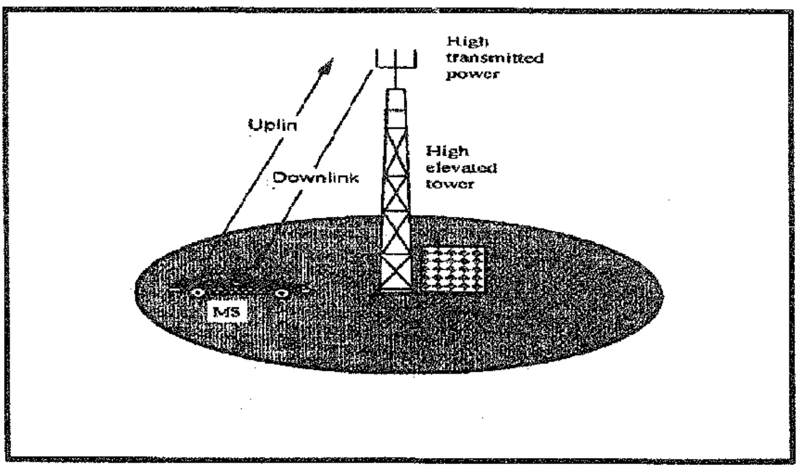
هي عبارة عن أجهزة تستعمل للتمكن من الاتصال بالشبكة، وظيفتها الأساسية تأمين الاتصال بين الجهاز المتنقل والشبكة و تحتوي على أجهزة إذاعية من أجل إرسال المكالمات واستقبالها كما هو الحال في البيجر والهاتف اللاسلكي المستخدم مع أفراد الشرطة.

2. محطة القاعدة (Base Station System) :

هي عبارة عن معدات تستخدم ضمن الخلية الواحدة، فكل خلية تحتوي على محطة القاعدة والتي تتضمن أجهزة رقمية وأجهزة إرسال إذاعية (RF equipments) وذلك لتغطية الخلية وتأمين الأتصال بين وحدة المشترك (ms) وخدمة التحويل والتبديل في الشبكة.

3. نظام التبديل في الشبكة (The Network Switching System):

تعمل على تأمين الاتصال وتحويل المكالمات بين المشتركين (بين محطة قاعدة وأخرى في حالة كان المشتركين (اللذان يعملان على الاتصال ببعضهما) ضمن خليتين مختلفتين، أوفي المحطة نفسها إن تواجد المشتركين ضمن الخلية نفسها. كما يقوم نظام التبديل في الشبكة بتنظيم الحركة بين محطات القاعدة، الشكل (6-4) يوضح عمل شبكة الاتصال اللاسلكي المبدئي.



الشكل (6-4): الإرسال اللاسلكي المبدئي بين محطة الإرسال والمشترك

2.4. عمل شبكة الهواتف اللاسلكية:

كلمة المتنقل (mobile)، تستعمل لوصف المشترك (subscriber) والذي يدفع أجر الاشتراك لاستعمال النظام والشبكة ويمكن تصنيف نظم الإرسال الراديوية المتنقلة كما يلي:

1. **نظم إرسال بسيط (Simplex):**

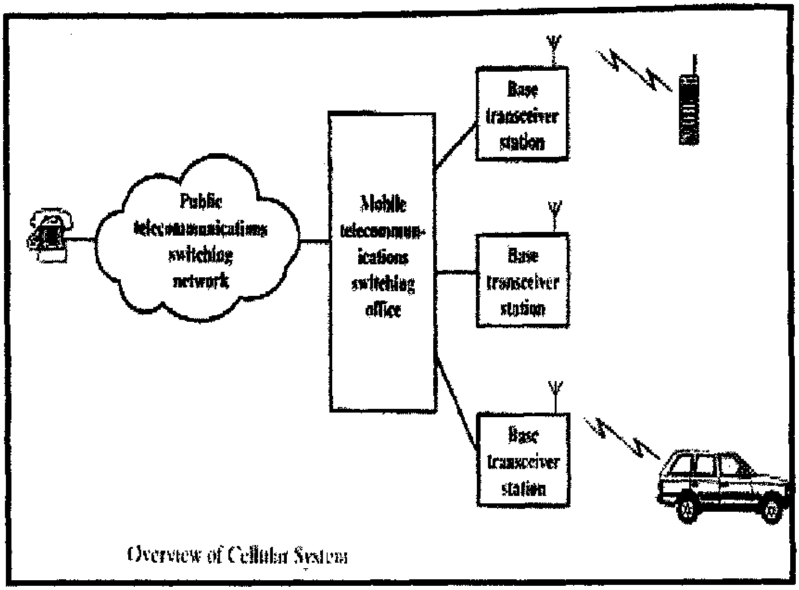
الاتصال باتجاه واحد فقط، بحيث يتم استقبال الرسائل ولكن لا يتم الرد عليها إلا بفتح اتصال جديد.

2. **نظم إرسال نصف مزدوجة (Half - duplex):**

الاتصال يتم باتجاهين، و يستخدم المشترك قناة راديوية واحدة للإرسال أو الاستقبال، فالمشترك في نفس اللحظة يكون مخيرا إما بالاستقبال أو الإرسال فقط.

3. **نظم إرسال مزدوجة (Full –duplex):**

يكون فيها الاتصال متزامنا بين المشترك والمحطة القاعدة ولها إمكانية الإرسال والاستقبال بنفس الوقت، وهذا هو النظام المستخدم في الشبكة الخلوية.



الشكل (7-4): طريقة ربط أكثر من مشترك على الشبكة

وبالنظر إلى الشكل (7 – 4)، نجد أن كل خلية (Cell)تغطي منطقة معلومة يتوزع عليها عدد من المحطات القاعدة تخدم هذه المنطقة فقط، تحتوي هذه الخلية على أكثر من مشترك (MS) يختلف عددهم بحسب حجم الخلية. فعند الطلب تقوم المحطة القاعدة باستقبال إشارة من المشترك وتحولها إلى مركز التبديل الذي يقوم بتوصيل المشترك مع الشبكة الأرضية (Public Switched Telephone Network) (PSTN) لإجراء المكالمة والمحاسبة عليها.

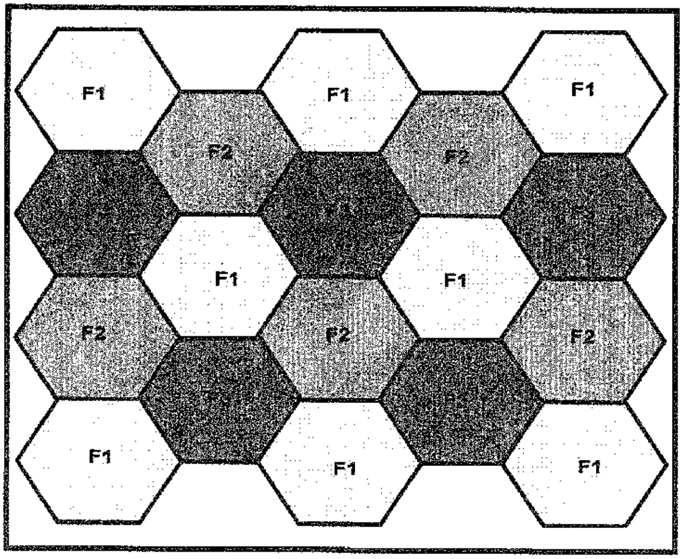
وسنناقش في الفصل القادم أحد أهم المبادئ في عمل الشبكة اللاسلكية والتي تتعلق بالطيف الترددي المحدود و المخصص للشبكة.

4.3. الطيف الترددي وتخصيص الترددات للاتصالات الخلوية:

يتراوح الطيف الترددي للموجات الراديوية المستخدمة في نظام الاتصال اللاسلكي(ومن ضمنها الاتصالات الخلوية) بين (300THz- 300Hz). تستخدم الشبكات الحديثة تقنية الوصول الترددي متعدد المسالك لتوفير عدد أكبر من المشتركين وذلك بتقسيم النطاق المتوفر الى قسمين:

1. وصلة الصعود (Uplink)، وتؤمن الاتصال من المشترك أو المحطة المتنقلة (MS) إلى المحطة الثابتة القاعدة (Bss)، ويتراوح الطيف الترددي ما بين (890MHz – 915MHz)
2. وصلة الهبوط (Downlink)، وتؤمن الاتصال من محطة القاعدة (Bss) إلى المحطة المتنقلة (MS)، ويتراوح الطيف الترددي له ما بين (960MHz – 935MHz)

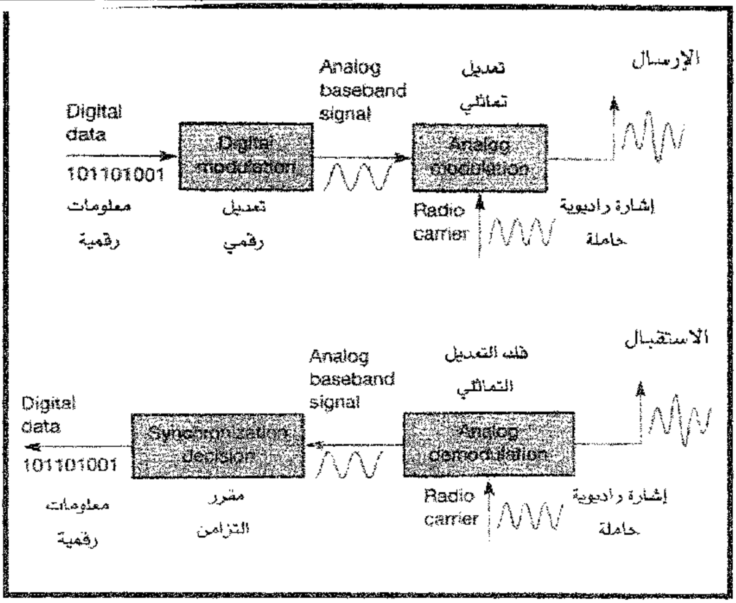
ويتم تقسيم المجال الترددي الواحد إلى ثمانية قنوات، ويعين لكل قناة قيمة التردد (نطاق التردد) محدد تختلف فيه عن غيرها ، ويراعى تحديد فاصل ترددي كاف بين القنوات المتجاورة لتفادي التداخل، وذلك بتقسيم الوصلة الواحدة إلى 124 قناة ترددية (carrier frequency) بعرض نطاق 200KHz لكل قناة، وكل قناة تقسم إلى ثمانية خانات بعرض (577µs)، وتستخدم القناة لنقل المعلومات بالإضافة لتخصيص أجزاء منها للتحكم بالتزامن، وتحتوي أيضا على منطقة حماية (guard space) في بداية ونهاية كل قناة لمنع التداخل بينها، وتوزع الترددات على الخلايا مع مراعاة إمكانية إعادة استعمالها في الخلايا الغير متجاورة لضمان عدم التداخل، كما في الشكل (8 – 4).



شكل (8 – 4) توضيح كيفية إعادة استعمال التردد في الخلايا المستخدمة

ويتم اختيار تردد الخلية من خلال مسلك التقسيم الترددي (Frequency Division Multiple Access(FDMA) ويحصل المشتركون داخل نطاق هذه الخلية على قنوات الاتصال من خلال خاصية مسلك التقسيم الزمني (Time Division Multiple Access(TDMA) إلى ثمانية قنوات.

تقوم الشبكات اللاسلكية بتحويل المعلومات الرقمية المراد إرسالها إلى إشارة تماثلية (مثل المودم المستخدم في الانترنت والذي يقوم بتحويل المعلومات الرقمية إلى تماثلية لنقلها عبر الهاتف)، وذلك يعود لعدم مقدرة الاتصالات اللاسلكية للإرسال الرقمي، تتم عملية التحويل باستخدام إحدى طرق التعديل المعروفة (.... ,FSK) PSK, ASK، ومن افضلها والتي تكون أقل حساسية للتشويش (Minimum Shift Keying (MSK)). بعد عملية التعديل يتم تحميل الإشارة التماثلية على إشارة حاملة (Carrier Frequency) باستخدام التعديل التماثلي (FM, AM) ثم يتم إرسالها عبر الهوائي المزود في الأجهزة المتنقلة. وتكون عملية الاستقبال معاكسة تماما لعملية الإرسال مع مراعاة عملية التزامن مع طرف الإرسال ، كما هو موضح في الشكل (9 – 4).



شكل (9 – 4) توضيح عملية الإرسال والاستقبال في الشبكة اللاسلكية

4.4. مبدأ التسليم والتداخل بين الخلايا:

نتيجة لمحدودية عدد القنوات والترددات المتاحة للاستخدام من قبل المشتركين، فإن عدد المشتركين تبعا له محدود أيضا، ولزيادة عددهم يتم إعادة استعمال التردد (Reuse Frequency)، فالإشارة الراديوية تضمحل مع المسافة، وبالتالي عند استخدام المسافة المناسبة والتي تؤمن اضمحلال الإشارة الراديوية فإنه يمكن إعادة استعمال التردد في خلية أخرى والشكل (10 – 4) يوضح المبدأ المستخدم.

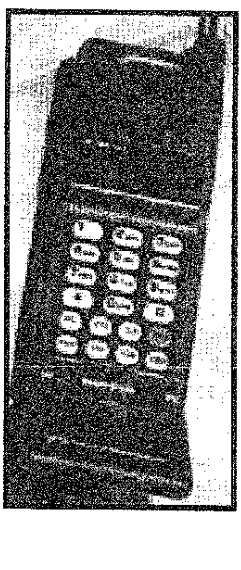
وكلمة متنقل، تشير إلى إمكانية انتقال المشترك من خلية إلى أخرى (تعود لتقسيم المنطقة لأكثر من خلية) أثناء أجراء المكالمة، فللالتزام بتكملة المكالمة دون انقطاع، لابد من تغطية المشترك ضمن الخلية التي انتقل إليها، ولحل هذه المشكلة يتم استخدام مبدأ يعرف بالمناولة (Handover)، بحيث يتم البحث عن القناة الأقوى إرسالا في الخلية المراد الانتقال لها، وتسليم الإرسال لها، بالإضافة إلى تحديث بيانات المشترك في الخلية التي انتقل لها.

أسئلة الوحدة:

1. ماهي أسباب اختيار الشكل السداسي للخلايا ؟
2. عدد أقسام الخلايا من حيث الحجم، وعلى أي أساس يتم تقسيمها ؟
3. عدد مكونات الشبكة اللاسلكية ؟
4. ما عمل كل من محطة القاعدة، ونظام التبديل ؟
5. اكتب الترددات المخصصة لكل من وصلة الصاعدة والوصلة الهابطة؟
6. اكتب ما تعرفه عن مبدأ التسليم أو المناولة . وإعادة استعمال التردد؟
7. ماهو أفضل تعديل يستخدم في الشبكات اللاسلكية، مع ذكر الأسباب؟
8. اكتب خطوات عملتي الإرسال والاستقبال في الشبكات اللاسلكية؟

الوحدة الخامسة

أنظمة الاتصالات الخلوية



أنظمة الاتصالات الخلوية

منذ بدأ استعمال الاتصالات اللاسلكية والخلوية، والمتخصصون يعملون على تأمين خدمة هاتفية لكل مشترك، يترافق مع ذلك الحرص على حجم وسعر هذه الخدمة بالإضافة إلى دقة الأداء وذلك من خلال استخدام عدة قنوات لاسلكية، واستخدام تقنيات إضافية لخدمة عدد أكبر من المشتركين كإعادة استخدام التردد على سبيل المثال.

وسيتم التعرف في هذه الوحدة على تطور الاتصالات الخلوية، وأهم مميزاتها واستخداماتها.

5.1. الجيل الأول (نظام الاتصالات الخلوية القياسية):

أولى التطبيقات الرئيسية الراديوية، وكانت في الخمسينات ومقتصرة على الجيش والإسعاف والطائرات والملاحة، وكانت محدودة التطبيق ويعود ذلك لغلاء ثمن أجهزة الإرسال والاستقبال بالإضافة إلى ضخامة حجمها أيضا.

ونظرا للطلب المتزايد على الخدمات الراديوية المتنوعة، تم تطوير تقنيات حديثة في السبعينات والثمانينيات تستطيع تلبية عدد أكبر من المشتركين، وذلك عن طريق تقسيم المنطقة إلى عدة مناطق جغرافية، وتركيب اتصال راديوي في كل منطقة جغرافية وتم تحديد 832 قناة لكل محطة إرسال وبعرض نطاق يفصل كل قناة عن الأخرى بمقدار 30KHz ، واعتمدت هذه المرحلة على التقنية التماثلية (استخدام تعديل ال FM)، بالإضافة إلى إمكانية إعادة استعمال التردد، وإمكانية عملية المناولة (Handover)، واستعمال تعدد الوصول بتقسيم التردد (FDMA). ويطلق أيضا على هذا النوع (Advanced Mobile Phone System (AMPS)).

ومن مساوئ هذا الجيل، معاناته من تشبع السعة بالإضافة إلى أن جودة الإرسال غير كافية ومقتصر على الخدمة الصوتية فقط.

5.2. انظمة الاتصالات الخلوية الرقمية (الجيل الثاني):

في أواخر الثمانيات أوائل التسعينات، تم تطوير التقنية الخلوية وإنتاج تقنيات رقمية لإرسال البيانات بسرعة وجودة عاليتين، مما يؤدي إلى خدمة عدد أكبر من المشتركين وتحقيق الكفاءة العالية، وتقديم ميزات خدمية مختلفة وبتكلفة اقتصادية منخفضة.

تم توفير خدمة التجوال الدولي، بسبب استخدام قياس موحد، وتقليل الضوضاء وتحسين الأداء بالإضافة إلى استخدام محطة طرفية متنقلة خفيفة الوزن وذات استهلاك قليل للطاقة الكهربائية وقد ظهرت في هذا الجيل أنظمة ومعايير مختلفة منها:

5.2.1. المعيار الخلوي النظام العالمي للاتصال المتحرك (Global System for Mobile Communication (GSM))

بدا العمل في هذا المعيار في أوروبا عام (1991)، وتم اعتماد هذا المعيار في النظام الخلوي العالمي لميزات هذا المعيار و التي سيتم التعرف عليها لاحقا، ويعمل هذا المعيار على الترددات التالية 900 ميغا هرتز ويطلق عليه GSM900 أو على 1800 ميغا هرتز ويطلق عليه GSM1800 أو 1900 ميغا هرتز ويطلق عليه GSM1900.

5.2.2. المعيار الأمريكي (ElectronicAssociationInterimStandard(IS-54)

تم تطوير هذا المعيار في داخل المدن الأمريكية في أواخر (1991)، وتم تركيب أجهزة النظام في المدن الأميركية، ويسمح للمشترك باستبدال القناة التماثلية (Analog) الواحدة، بقنوات رقمية تخدم ثلاث مشتركين بنفس الوقت، وبعرض نطاق (30KHz)، ويسمى هذا النظام (Digital Advanced Mobile Phone System (DAMPS) Or (Advanced Mobile Phone System .(AMPS)))

بالإضافة إلى استخدام تقنية تعدد الوصول بتقسيم الزمن (TDMA) بديلا عن تعدد الوصول بتقسيم التردد (FDMA).

5.2.3.المعيار الأميركي الثالث (IS-95)

اعتمد هذا النظام تقنية الوصول المتعدد بتقسيم الشيفرة.

(Code Division Multiple Access (CDMA)، وفي هذه التقنية يتم استخدام قناة واحدة لأكثر من مستخدم في نفس الوقت بحيث تقسم الإشارة اللاسلكية إلى شرائح من البيانات تحمل كود بعنوان المستخدم للهاتف الخلوي . وأثناء انتقالها إلى المستقبل تتوزع الشرائح على نطاق الترددات ثم يعاد تجميعها عند الاستقبال, وبذلك تمنع التداخلات وخاصة عند استخدام المشتركين نفس النطاق الترددي, وتوفر إمكانية اكبر للحفاظ على سرية المعلومات.

5.2.4. المعيار الأميركي الرابع (IS-136):

يشبه المعيار الأميركي (IS-54)، ولكن الاختلاف بينهم، باحتواء هذا المعيار على قنوات تحكم لتحسين المكالمات والرسائل الخدمية.

5.2.5. خدمات الاتصال الشخصي
Personal Communication Services (PCS)

يستخدم هذا النوع في كل من كندا وأميركا (PCS 1900)، ولها نفس مميزات نظام GSM، وتستخدم الترددات في النطاق MHz(1900 – 850).

5.3.6. الهاتف الرقمي الشخصي المحمول:
Personal Digital Cellular (PDC)

يستخدم لتنزيل البرامج التشغيلية للدخول بالشبكة

5.3. الجيل الثالث للنظم المتنقلة:

يلعب هذا الجيل لنظم الاتصالات المتنقلة دورا هاما، بحيث يخدم المستخدمين لنقل الصوت والبيانات الرقمية، والصور الثابتة والمتحركة، وذلك عن طريق شبكات الاتصالات اللاسلكية، مثل الشبكة العامة لتحويل الهاتف (Public Station Telecommunication Network (PSTN)) وشبكة الخدمات الرقمية (Integrated Service Digital Network (ISDN)).

بداية أطلق على هذا النظام (Future Public Line Mobile Telecommunication System(FPLMTS)) وتم تحديد عرضين نطاق له؛ الأول MHz(2025–1885)، والثاني MHz(2200–2110)، وقام المعهد الأوربي القياسي للاتصالات (EI8I) على تعريف نظام عالمي للاتصالات المتنقلة (Universal MobileTelecommunicationsSystem(UMTS))، وقد تم مطابقة النظامين بواسطة الاتحاد العالمي للاتصالات واطلق عليه (IMT2000) (InternationalMobileTelecommunication System in year 2000) ومن مميزات هذا النظام التجوال الموحد في جميع البلدان، بالإضافة إلى البيئة المتعددة، وإمكانية الدمج بين خدمة التجوال المحلي وخدمة التجوال الدولي.

ويستخدم في هذا النظام عدة تقنيات وصول فمثلا:

- يستخدم تعدد الوصول العريض النطاق بالتقسيم الشيفري (Wide-band Code Division Multiple Access (WCDMA)) ، ويعمل بنفس مبدأ تعدد الوصول بتقسيم الشيفري ، ولكن يتم استخدام عرض نطاق أكبر
- يستخدم تعدد الوصول بتقسيم الزمن (TDMA).
- متعدد النقل أو الحمل ويعتمد على تعدد الوصول بالتقسيم الشيفري (Multi- Carrier Mode based On (CDMA2000))
- تقسيم الزمن المزدوج ويعتمد على تقسيم الزمن وتعدد الوصول بالتقسيم الشيفري، بحيث يقسم العرض الى اكثر من قناة، وكل قناة لها أكثر من شيفرة.
- تستخدم سعة نقل بيانات (2-24 Kbps).

ومن مميزات هذا الجيل:

- خدمة الصوت والصورة العالية في هذا الجيل.
- القدرة على نقل الوسائط المتعددة (الصوت والصورة).
- ازدياد عدد المشتركين الممكن تأمين خدماتهم ضمن الشبكة بحيث يصل الى 50% من السكان.
- التغطية الكلية الراديوية والقدرة على الإرسال 144Kpbs وتصل إلى 2Mpbs.

5.4. تعريف شبكة الـ GSM:

شبكة ال GSM لا تختلف عن مبدأ عمل الشبكة الإذاعية، وتتميز عنها باستخدام المشترك لوحدة تعريف خاصة فيه، والمعلومات التي تخصه، مثل رقم الهاتف النقال، رمز القفل، وحساب المشترك وأرقامه.

فعندما لا يستخدم المشترك هاتفه أو يكون جهازه مقفل فيكون في حالة (OFF) وهنا لا يتم تغطيته ضمن اي خلية، وعند استعمال الجهاز النقال (فتح الموبايل)، ومن غير إجراء مكالمة فيكون في حالة الراحة (Idle) ويتم تغطية المشترك ضمن أقرب خلية، بالإضافة إلى تخزين بياناته وتحديثها، وفي حالة طلب مكالمة ينتقل المشترك إلى الحالة الفعالة (Active) ويتم اختيار القناة الأقوى إرسالا، وتقديم خدمة المناولة (Handover) في حالة انتقاله من خلية إلى أخرى.

5.5. مكونات شبكة الـ GSM:

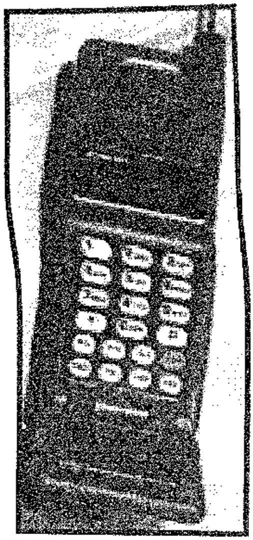
بشكلها العام تشبه مكونات الشبكة اللاسلكية، ولكم مع تطور العلم ظهرت تقنيات تميز ال GSM،وتتكون من خمس أجزاء رئيسية كما يلي:

1. وحدة المشترك ((Mobile Station (MS)):

هي عبارة عن أجهزة تستخدم للتمكن من الاتصال بالشبكة وتتضمن أجهزة إذاعية، وكل محطة نقالة تعرف برقم هوية خاص فيها، ومخزن بشكل دائم بحيث يتم تحميله عند إجراء اتصال بالشبكة، وحجز قناة للتمكن من إتمام المكالمة الهاتفية، وتتألف هذه الوحدة من جزئين :

أ. أجهزة الموبايل (المعدات) ((Mobile Equipment (ME)):

وهي الجزء المكون من الأجهزة (hardware)، والذي يسمح للمشترك بالدخول إلى الشبكة لاحتوائها على أجهزة راديوية، ويتم في هذا الجزء تخزين الرقم الخاص (هوية الجهاز (International Mobile Equipment Identity (IMEI)) كما في الشكل (5-1)



الشكل (5 – 1) جهاز الموبايل (وحدة المتنقل)

ب. بطاقة التعريف الذكية (الشريحة) (Subscriber Identity Mobile (SIM))؛

هي بطاقة يتم تزويدها بجهاز المشترك (الموبايل)، ويخزن فيها هوية المشترك والتي تختلف عن هوية الجهاز، بالإضافة إلى تعريف المشترك في الهوية التي ينتمي إليها ، والمعلومات التي يمكن أن يتلقاها ويمكن لكل مشترك إضافة رقم سري لضمان الحماية والخصوصية، وذلك للتوجيه الصحيح لوصول المكالمات إلى المشترك، والشكل التالي يوضح شكل (2-5) البطاقة الذكية.



الشكل (2 – 5) البطاقة الذكية

2. محطات القاعدة ((Base Station System (BSS)):

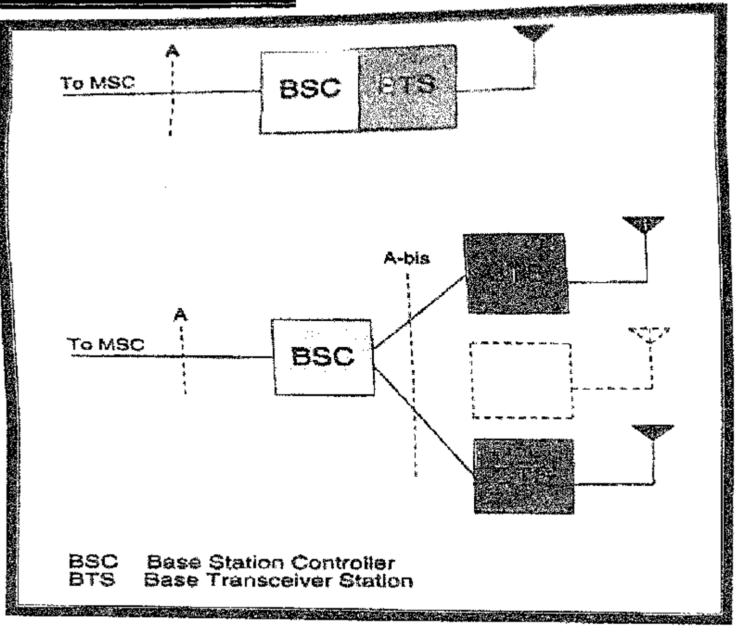
هي عبارة عن معدات تستخدم ضمن الخلية الواحدة، وتجمع بين الأجهزة الرقمية وأجهزة الإرسال الإذاعية (RF equipment)، لتغطية الخلية وتؤمن الاتصال بين المشترك وما يعرف بمركز الخدمة (Mobile Service Center(MSC))، وتأمين قناة لإجراء المكالمة ونقل البيانات بالإضافة إلى مراقبة الجودة، وتتألف هذه الوحدة من جزئين:

أ. نظام محطة القاعدة للاتصال (المحطة الفرعية) (Base Transceiver Station (BTS)):

من اسم هذه الوحدة نتعرف على عملها وهو الإرسال والاستقبال في الخلية، ولذلك تحتوي على أجهزة الإرسال الإذاعي (RF equipment)، ومعالجة الاتصال المباشر مع المشترك (MS)، وتقوم أيضا بتعريف الخلية بين الخلايا 64 المجاورة لها، وتحتوي الخلية الواحدة على أكثر من وحدة (BTS)، ويتراوح عددها (20-30) وحدة ضمن الخلية نفسها.

ب. وحدة التحكم في محطات القاعدة: (Base Station Controller (BSC)

وهي وحدة التحكم في محطة القاعدة (BSS)، من حيث إعداد النداء، وتشغيل المرسل والمستقبل في محطة القاعدة، وتؤمن الاتصال المباشر مع مركز الخدمة (MSC)، وعملية المناولة بين الخلايا (Handover)، وقفزات التردد (Frequency hopping)، وتتحكم وحدة التحكم هذه (BSC) بأكثر من وحدة (BTS) وتصل إلى ثلاثين وحدة، بينما كل خلية تحتوي على وحدة تحكم واحده فقط. والشكل (5-3) يوضح وحدتي محطة القاعدة.



شكل (3-5) توضيح وحدتي المحطة القاعدة (BTS& BSC) والربط بينهم

الوصلة التي تربط بين (BTS & BSC) يطلق عليها وصلة (A-bias)، وتكون هذه الوصلة داخل محطة القاعدة، وهي اختيارية لتشغيل ال (BTS & BSC) وتقوم بتامين الاتصال بين المشترك (MS) وبين مركز الخدمة (MSC).

3. مركز الخدمات والتحويل للمتنقلات:
(Mobile Switching Center (MSC))

يتضمن عمل هذا المركز القيام بمعالجة النداء بين المشتركين، وتنظيم الحركة بين محطات القاعدة (BSS) وبين مركز الخدمات (MSC)، تأمين الاتصال بين المحطة الأرضية الثابتة (PSTN) والشبكة الرقمية المتكاملة (ISDN) ولغة التخاطب هنا يطلق عليها رقم7 (Signaling System number7(SS7)) وتدير ايضا القناة الإذاعية المطلوبة أثناء عملية النداء، وتعالج أيضا تسجيل المشترك لموقعه وتحديثه ، وتدير عمليات التسليم المشترك لخلية اخرى (المناولة) (Handover).

4. نظام التبديل في الشبكة:
(The Network Switching System (MSC))

يحتوي هذا النظام على ما يلي:

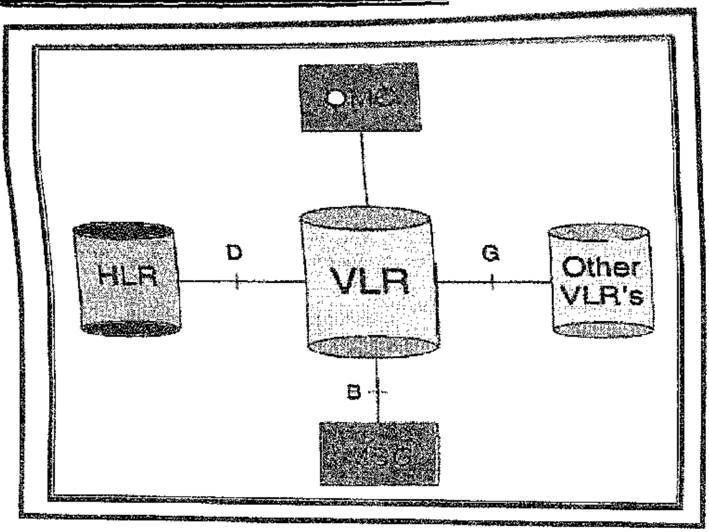
أ. مسجل الموقع المحلي (**(Home Location Register (HLR)**):

تحتوي على جميع المعلومات الدائمة للمشتركين، وتوثق هذه المعلومات عند انضمام المشترك إلى الشبكة. وذلك لتمكين المشترك لاستقبال الاتصال وتحتوي مثلا على خدمات تحويل المكالمات و الانتظار، والمعلومات التي تخزن:

1. رقم هوية المشترك المخزن في البطاقة الذكية (Identity Number (ID)):
2. حالة المشترك (حالة ال OFF، حالة الراحة أو الفعالة).
3. رقم التجوال الدولي للمشترك (Mobile Subscribe Roaming Number (MSRN)).
4. خدمات إضافية مثل تحويل المكالمات خدمة الانتظار وغيرها.
5. معلومات عن موقع المشترك لتمكن من إجراء النداء وقت طلب المكالمة.

ب. مسجل موقع زائر (**(Home Location Visitor (VLR)**):

تحتوي على جميع بيانات المشترك الذي ينضم إلى الشبكة، وذلك عن طريق عمل نسخة من موقع سجل الحالي (HLR)، بشكل مؤقت ويتم إلغاء هذه المعلومات بخروج المشترك من المنطقة التي تغطيها ال (VLR)، كل مركز تبديل (MSC) تحتوي على (VLR) والمعلومات التي تحتويها هي نفس معلومات (HLR)، والشكل (4-5) يوضح عملية الاتصال بين موقع الزائر مع الموقع المحلي وأي موقع زائر في منطقة معينة.



الشكل (5-4) : توضح اتصال موقع الزائر مع المعدات الأخرى

ج. مسجل هوية المعدات ((Equipment Identity Register (EIR)):

يقوم بالتحكم والتأكد من مصداقية الوحدات المتنقلة (IMEI)، من حيث السرقة، وتكون مضافة إلى معدات الوحدة المتنقلة بوضع الشركة المصنعة رقم خاص بالجهاز النقال ويكتب خلف البطارية، ويرسل هذا الرقم مع كل اتصال، ويتم التحكم بها عن بعد عن طريق (MSC).

وتقسم إلى القوائم التالية:

1. القائمة البيضاء (الصحيحة) (White List, Valid List):

هي قائمة الأجهزة المصرحة باستخدامها داخل الشبكة.

2. القائمة السوداء او المشبوهة (Black Or Suspect List):

هي قائمة الأجهزة الغير مصرح لها باستخدام الشبكة، او تكون تحت الملاحظة.

3. القائمة الرمادية او المحتالة (Gray or Fraudulent List):

هي قائمة الأجهزة التي تحتوي بعض خدماتها على مشاكل.

ويكتب الرقم الخاص بالمعدات كما يلي:

X X X X X X - X X - X X X X X X – X

TAC - FAC - SNR – CD

(Type Approval code (TAC)): الشيفرة المثبتة.

(Final Assembly Code (FAC)): شيفرة التجميع (الاسمبلي) النهائية

(Serial Number (SNR)): الرقم التسلسلي.

(Chick Digit (CD)) : خانة الفحص والتأكد

ولكن تم تغيير النمط الحالي من قبل اتحاد الاتصالات العالمي ITU الى

X X X X X X X X -X X X X X X – X TAC - SNR – CD

ويمكن ان نجده ايضا بهذا النمط IMEISVوال SV software version
تعني نسخة البرنامج X X X X X X X X X- X X X X X X - X -X X

SVN software version number TAC - SNR - CD -SVN

لمحة عن تعريف المشترك IMSIInternationalMobileSubscriberIdentity

هو عبارة عن رقم خاص لكل بطاقة (شريحة) و هو ليس رقم الموبايل (الجوال) الذي يتم الاتصال بواسطته، هو رقم اقرب إلى رقم الشبكة و هو يحتوي غالبا على 15 خانه كالنمط التالي

X X X-X X- X X X X X X X X X X

MCC-MNC - MSIN

كود الدولة (mobile country code(MCC)):

(mobile network code(MNC)) كود الشبكة التي اشتريت منها بطاقتك (شريحتك)(mobilestation identification number (MSIN) رقم تعريف المحطة المتحركة (الموبايل).

هذا الرقم نحتاجه من اجل أي شبكة هاتف متحرك أرضيه (PLMN) تستطيع به أن تتعرف على الموبايل خاصة المشتركين من شبكات أخرى بحيث تقدم له الخدمات التي يكون مخول بها من قبل شبكته الأم.

د. مركز التوثيق (Authentication Center (AUC):

هو مركز الأمن للشبكة التي تخول المشترك باستخدام الشبكة، ويقوم هذا المركز بالاتصال (HLR) وتكون ضمن المنطقة المغطاة منها أيضا، وتحديث المعلومات وحمايتها لكل بطاقة ذكية للمشترك (SIM).

5. مركز التشغيل والصيانة:
(Operation and Maintenance Center (OMC))

وهو العنصر المركزي للسيطرة ومراقبة عناصر الشبكة عن بعد وتقسم إلى قسمين:

أ. (OMC) وتقوم بصيانة الشبكة والمعلومات المخزنة يوميا، ولها جزئين:

1. مركز الصيانة والمراقبة – جزء التحويل

(OMCSwitching(OMC-S)؛

ويقوم بإدارة وظائف التحويل والتبديل في الشبكة.

2. مركز الصيانة والتشغيل – الجزء الراديوي

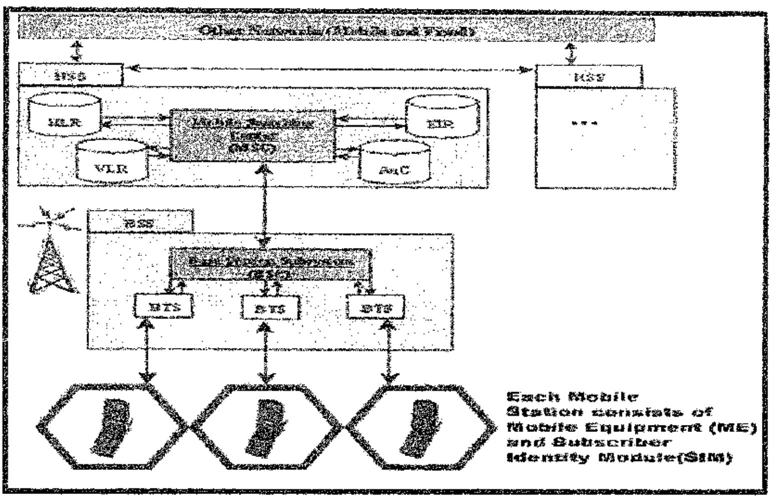
(OMC radio part (OMC-R)

ويقوم بإدارة وظائف نظام محطات القاعدة.

ب. (Network Management Center (NMC)) إدارة الشبكات:

تقوم بمراقبة والتحكم بالشبكة الدولية، وعملية التجوال الدولي.

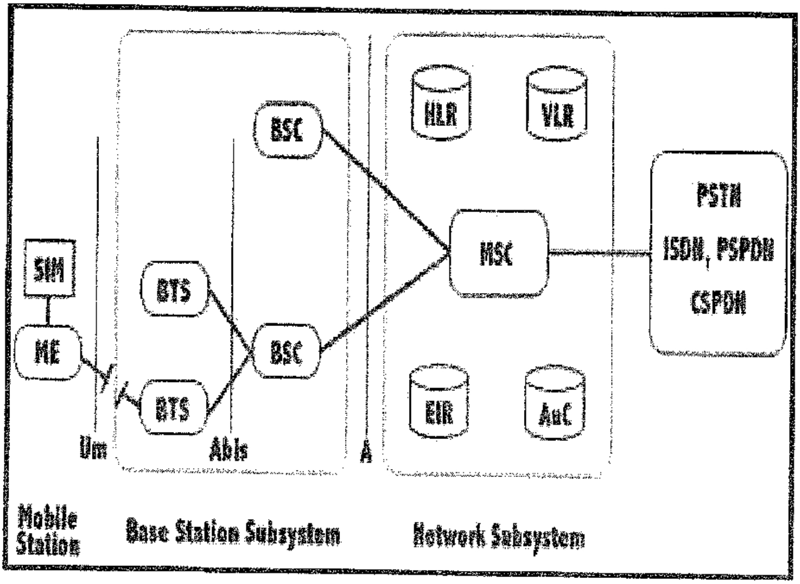
الشكل (5-5) يوضح مكونات شبكة (GSM)



الشكل (5-5) مكونات شبكة GSM

5.6. عمل شبكة GSM.

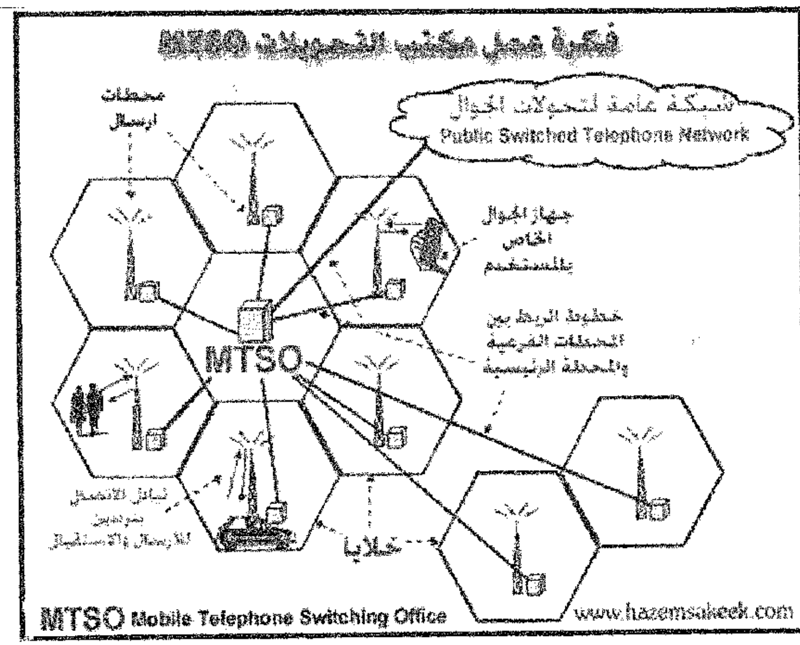
الشكل(5-6) يوضح عمل الشبكة.



الشكل (5-6) توضيح عمل شبكة GSM

توضع البطاقة الذكية (SIM)، داخل الجهاز النقال و يتم التأكد من صلاحية هوية المشترك من موقع المسجل الحالي (HLR) وعمل نسخة منها أيضا في مسجل الزائر (VLR)، والتأكد من صلاحية هوية الجهاز من معدات النقل (IER)، وبعد التأكد من صلاحيتهما يتم تغطيتهما ضمن اقرب خلية ويخصص لها أقوى القنوات إرسالا، وتتم عملتي الإرسال والاستقبال بزوج من الترددات (وصلة المصعد ووصلة المهبط) ، وإجراء عملية مسح وتحديث البيانات من فترة إلى أخرى، وعند طلب مكالمة يتم اختيار القناة الأقوى إرسالا و يرسل الطلب إلى محطة القاعدة، والتي بدورها ترسلها إلى مركز البيانات (MSC)، ويتم هنا إرسال نداء إلى الطرف الآخر لطلب المكالمة ، عند اقتراب المشترك من الخروج من الخلية

باقترابه من طرفها، يعلم مركز التبديل بضعف الإشارة، وتعلم الخلية المجاورة بقوة إرسال الموبايل المقترب، وتشتركان مركز الخليتين (BSS) بالاتفاق مع مركز التبديل (MSC) وعند نقطة معينة يقوم مركز التحويلات (MSC) بإصدار قرار إلى الخلية المجاورة باستلام المهمة وإكمال الاتصال بترددين مختلفين، ومن هنا جاءت تسمية ما يعرف بقفز التردد، وذلك لتغيره من خلية إلى أخرى. كما في الشكل (7-5).



شكل (7-5): مبدا تغطية الخلية والإرسال

المعلومات من مركز التبديلات (MSC) تحول إلى الهاتف الأرضي (PSTN)، و ذلك لتسهيل عملية نقل المكالمة والحساب المالي على هذه المكالمة.

أما في خدمة التجوال (Roaming) فالمشترك ينتقل إلى خلية مغطاة من قبل شركة أخرى، بحيث لا يستطيع التعرف على نظام تعريف الشيفرات (SID) .

ولحل هذه المشكلة يقوم مركز المتنقلات (MSC) في الشركة الأخرى بالإرسال إلى مركز المتنقلات (MSC) في الشركة الأولى للتأكد من رقم تعريف الشيفرات له وأخذ المعلومات المناسبة، وتبقى (MSC) للشركة الأخرى تتبع المشترك وتغطيه، وهذه العملية لا تستغرق إلا ثواني! بينما المحاسبة المالية تختلف من شركة إلى أخرى حسب التعريفات المتفق عليها. والجدول التالي يوضح مواصفات شبكة GSM.

جدول (5 – 1): مواصفات شبكة ال GSM

رقم المواصفة	المواصفة	تفصيل المواصفة
١	نطاق الإرسال من محطة الإرسال الثابتة	٩٢٥ – ٩٦٠ ميجاهرتز(Downlink)
٢	نطاق الإرسال من محطة الإرسال المتنقلة	٨٩٠ – ٩١٥ ميجاهرتز(uplink)
٣	أقصى قدرة إرسال	٢ – ٢٠ وات
٤	عدد القنوات من النوع المزدوج(Duplex)	١٢٥ قناة
٥	عرض النطاق الترددي للقناة الواحدة	٢٠٠ كيلوهيرتز
٦	طريقة النقل	تعدد الوصول بتقسيم الزمن(TDMA)
٧	عدد المشتركين في الإطار الواحد	ثمانية لكل إطار(8/Fram)
٨	تشفير الكلمات	١٣ كيلوبيت لكل ثانية(13Kbits/sec)
٩	طرق حماية الخطأ error protection methods	١ – الترك البيني Interleaving ٢ – تشفير القناة Channel coding ٣ – قفز التردد Frequency Hopping ٤ – المساواة التكيفية Adaptive equalization
١٠	طريقة التعديل أو التضمين	زحزحة التبديل الدنيا الجاوسية(GMSK)

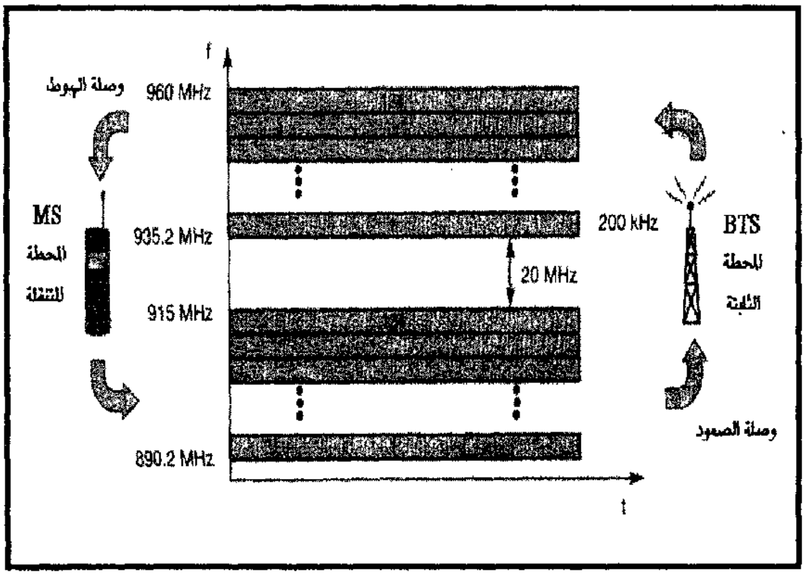
6.5. طرق الوصول في شبكة GSM:

يعتبر تعدد طرق الوصول من مميزات شبكة الاتصال الخلوي، والتي تميزها عن الشبكات اللاسلكية، وبذلك تؤمن خدمة عدد أكبر من المشتركين ومن الأنواع المستخدمة في شبكة GSM:

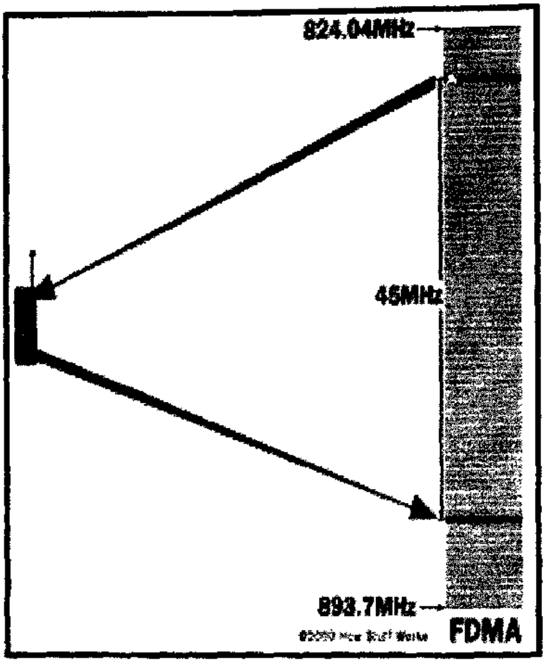
1. الوصول المتعدد بتقسيم التردد:

(Frequency Division Multiple Access (FDMA))

في كل محطة اتصال جوال توجد محطة إرسال راديوية ترسل الإشارة بترددات مختلفة خلال النطاق المخصص من المدى الترددي، ويقسم المجال الترددي إلى قنوات ترددية، و يعطى كل مستخدم قناة ترددية معينة، وتستخدم نطاقين (كما تم شرحها بالوحدة الرابعة)، وصلة الصعود (Uplink) المتراوحة (-915 890)MHz ووصلة الهبوط (Downlink) والمتراوحة MHz(960-935)، والشكل (5-9) يوضح وصلتي الصعود والهبوط، ويقسم أيضا كل نطاق إلى 124 قناة ترددية، ويعرض نطاق 200KHz. والشكل (5-10) يوضح استعمال المشترك مبدأ تقسيم التردد واستلام وإرسال على تردد معين.



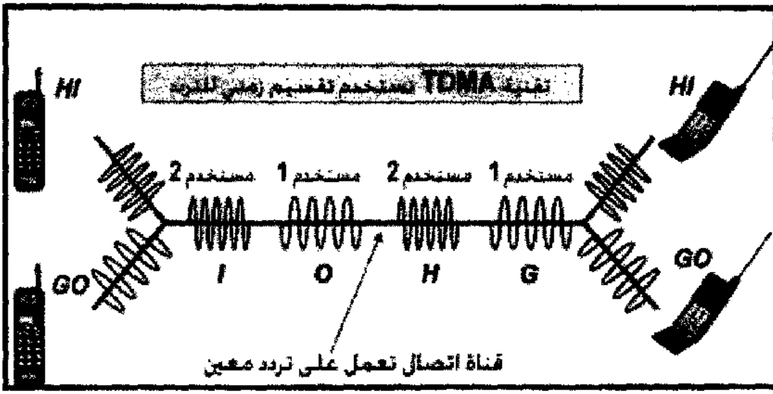
شكل (5-9):توضيح وصلتي الصعود والهبوط



الشكل (5-10): توضيح مبدأ تقسيم التردد

2. الوصول المتعدد بتقسيم الزمن:
(Time Division Multiple Access (TDMA))

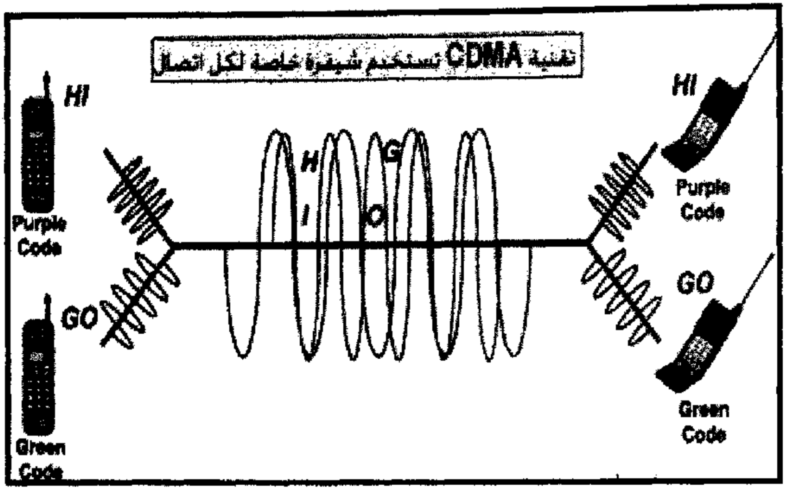
هنا يتم تقسيم القناة الترددية الواحدة إلى ثمانية خانات (4.615ms)، وكل خانة بعرض (577μs)، وتحتوي كل خانة على المعلومات الخاصة بالمشترك ويمكن لكل قناة إجراء ثلاثة مكالمات، بحيث يتم ضغط الإشارة الرقمية وإرسالها على ثلاث أجزاء، كما في الشكل (9-11) والذي يوضح طريقة الإرسال باستخدام هذه التقنية.



الشكل (9-11) عملية الإرسال باستخدام تقنية TDMA

3. الوصول المتعدد بتقسيم الشيفرة:
(Code Division Multiple Access (CDMA))

تستخدم تقنية CDMA وسيلة مختلفة تماما عن تقنية TDMA فهذه التقنية تقوم بعد عملية التحويل (من التناظري إلى الرقمي) بنشر البيانات الرقمية المضغوطة على ما هو متوفر في النطاق الترددي، أي أن البيانات ترسل في صورة حزم أو رزم على ترددات متفرقة متاحة للاستخدام خلال أي فترة زمنية، بدلا من إرسالها على قنوات وترددات معينة، والشكل(9-12)، يوضح عملية إرسال محطتين متنقلتين باستخدام هذه التقنية، ونلاحظ فيها استخدام شيفرتين مختلفتين على نفس النطاق الترددي، وترتبط كل مكالمة بشيفرة مميزة والمستقبل يستقبل هذه الرمز ويجمعها، وبذلك يمكن إرسال أكثر من مكالمة.



الشكل (9-12): توضيح عملية لإرسال باستخدام CDMA

4. **الوصول المتعدد بالتقسيم المكاني**
(Space Division Multiple Access (SDMA)):

تعتمد على تقسيم المكان (البلد) إلى أكثر من خلية بشكلها السداسي، وكل خلية تخدم مساحة معينة ومحدودة، مع القدرة على إعادة استعمال الترددات كما تم توضيحها في الوحدة السابقة.

7.5. التعديل المستخدم في شبكة GSM:

يستخدم في نظام GSM التعديل الأكثر قدرة على احتمال التشويش فالإشارة ترسل عبر الهواء وهناك إمكانية كبيرة لتعرضها للتشويش، وأنواع التعديل التماثلية المستخدمة في أنظمة الاتصالات ثلاثة:

1. التعديل السعوي ((Amplitude Modulation (AM)):

تكون أكثر التعديلات سهولة من حيث الاستخدام، ولكن أقل التعديلات مقدرة على احتمال التشويش.

2. التعديل الترددي ((Frequency Modulation (FM)):

هذا التعديل أكثر تعقيدا من AM وله قدرة أكبر على احتمال التشويش

3. التعديل الازاحي ((Phase Modulation (PM)):

يعتبر أكثر الأنواع تعقيدا وقدرة على احتمال التشويش ولذلك يعتبر هذا التعديل الأفضل في شبكة GSM

أما بالنسبة لأفضل تعديل رقمي مستخدم في شبكة GSM، هو تعديل ((Phase Signal Keying(PSK)، وذلك يعود لقدرته على احتمال التشويش وخصوصا في الترددات العالية، بالإضافة إلى عرض النطاق العريض الفعال والمطلوب في عمليات الإرسال، والتعديل الأمثل هو GMSK ولشبكة GSM أكثر من مجال ترددي ، وتم تقسيمها وتسميتها بناء على قيمة النطاق الترددي، وأكثرهم انتشارا GSM900 . والجدول (5- 2) يوضح تطورات نظام GSM.

جدول (5 – 2) : تطورات نظام شبكة ال GSM

الرقم	اسم النظام	المواصفات
.1	P-GSM 900	الوصلة الصاعدة: (915-890)MHz
		الوصلة الهابطة: (960-935)MHz
		عرض النطاق الترددي (2*25)MHz
		الاشارة الحاملة 200 KHz

		معدل الارسال 270.8Kpbs
		عدد القنوات 125
		المسافة المزدوجة Duplex 25MHz
.2	E-GSM 900	الوصلة الصاعدة (915-880)MHz
		الوصلة الهابطة (960-925)MHz
		عرض النطاق الترددي (2*35)MHz
		الاشارة الحاملة 200KHz
		معدل الارسال 270 Kpbs
		عدد القنوات 175
		المسافة المزدوجة Duplex 35MHz
.3	GSM 1800	الوصلة الصاعدة (1785-1710)MHz
		الوصلة الهابطة (1880-1805)MHz
		عرض النطاق الترددي (75)MHz
		الاشارة الحاملة 200KHz
		معدل الارسال 270 Kpbs
		عدد القنوات 373
		المسافة المزدوجة Duplex 95MHz
.4	GSM 1900	الوصلة الصاعدة (1910-1850)MHz
		الوصلة الهابطة (1990-1930)MHz
		عرض النطاق الترددي (60)MHz
		الاشارة الحاملة 200KHz
		معدل الارسال 270 Kpbs
		عدد القنوات 300
		المسافة المزدوجة Duplex 80MHz

8.5. القنوات المستخدمة في نظام GSM:

لمعرفة كيفية نقل المعلومات والمحادثة في الشبكة الخلوية، يجب التعرف على القنوات المستخدمة لنقل هذه البيانات، بحيث يمكن يقسم النطاق الترددي إلى ثمانية أجزاء، وكل جزء يطلق عليه ((Time Slot(TS)) شريحة وقت، وتتراوح (TS_0–TS_1) والخانات التي يتم نقل المعلومات فيها يطلق عليها الرشقة (burst).

وتقسم القنوات في الشبكة إلى نوعين رئيسيين، الأولى قنوات مكرسة؛ وهي مخصصة لنقل الكلام والحركة، والثانية قنوات مشتركة؛ وهي مخصصة للاستعمال بين الطرفين (المحطة الثابتة (BSS) والمحطة المتنقلة (MS)). وأنواع ومميزات هذه القنوات يمكن تلخيصها كما يلي:

1. قنوات مشتركة ((Common Channel (CCH)):

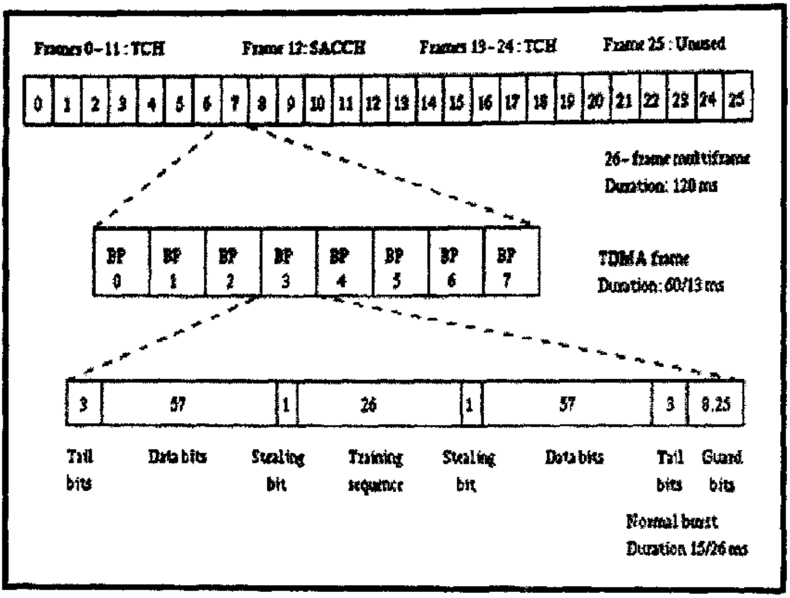
- تكون هذه القناة مخصصة في حالة الراحة (Idle mode)، لتبادل المعلومات بين المحطة الثابتة (BS) والمحطة المتنقلة (MS)، وتحتوي على واحد وخمسين رتل (51-frame) ومنها 26 خاصة بقنوات الحركة، وللتميز بين الوصلتين تستخدم في حالة الوصلة الصاعدة Ts_0، بينما في وصلة الهابطة تعطى خانات زمنية محددة، مثل تلك المخصصة للتزامن.

2. قنوات مكرسة (Dedicated Channel):

هي عبارة عن قنوات مخصصة للمحطة المتنقلة (MS)، لنقل الكلام والحركة، وتقسم الى جزئين هما؛ قنوات حركة وقنوات تحكم:

أ. قنوات الحركة ((Traffic Channel (TCH)):

الشكل (5-12) توضح توزيع الرشقة والقنوات



الشكل (5-12):توزيع قنوات الحركة وقنوات التحكم

وتوجد هذه القناة في كل من الوصلة الهابطة والهابطة، وتحمل بيانات المشترك ومكالماته، والفرق بإرسال الوصلتين يكون بمقدار ثلاث رشقات (3-brust) وذلك لضمان عدم حدوث تداخل في عملتي الإرسال والاستقبال في نفس اللحظة، وتقسم إلى جزئين حسب كيفية نقل المعلومات،

1. قنوات الحركة ذات تدفق نصفي:
(Traffic Channel \ Half rate (TCH \H))

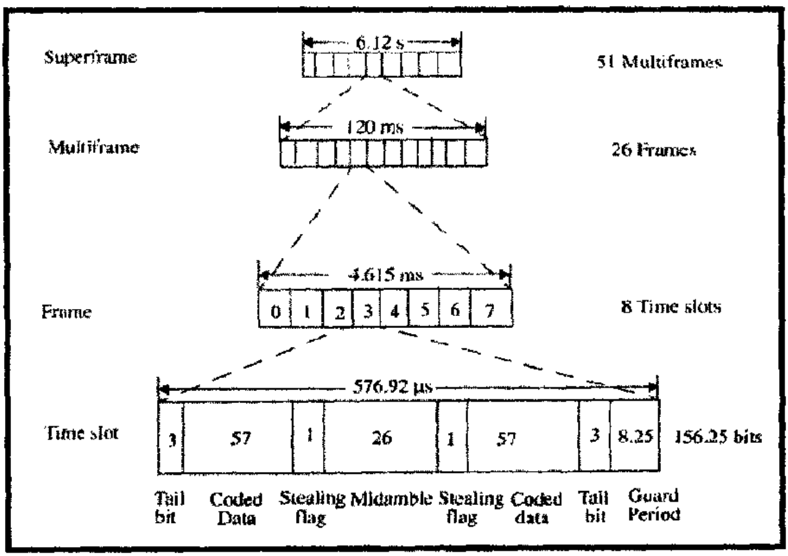
تستخدم فيها تدفق نصفي لنقل بيانات المشتركين (7Kpbs) وترسل البيانات على أكثر من خانة وبشكل متزامن.

2. قنوات الحركة ذات تدفق كامل:

(Traffic Channel \ Full rate (TCH \F))

تستخدم فيها تدفق كامل لنقل بيانات المشتركين (13.4Kpbs) وترسل بيانات المشتركين مرة واحدة وفي خانة زمنية واحدة، كما هو في شكل (5-13) وكما يظهر الشكل استخدام (51multiframe) وتقسم الى ستة وعشرين جزء، وتستخدم (24frame) لنقل المعلومات ويبقى اثنين من القنوات وتستخدم احداهما للتحكم والأخرى غير مستخدمة.

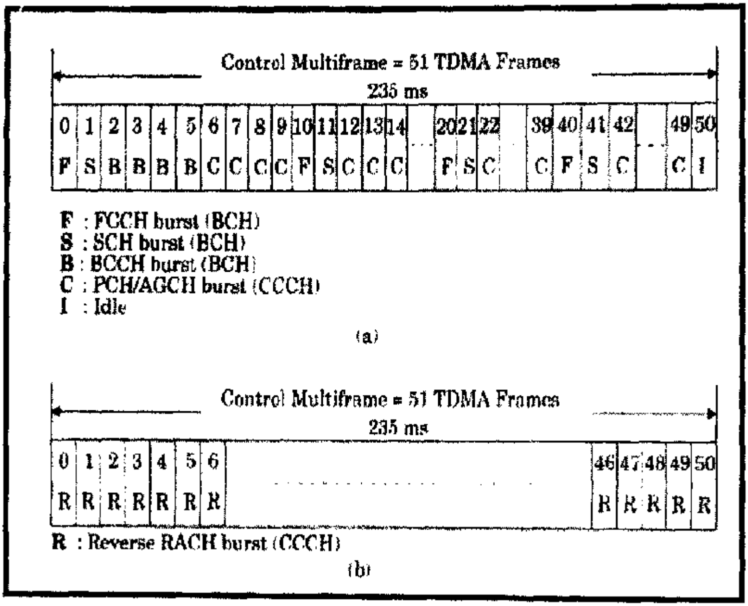
ونلاحظ انه في كل قناة يوجد ذيل (tail) في بداية ونهاية القناة لضمان عدم التدخل، وخانتين علم (stealing flag) وتستخدم قبل ارسال المعلومات من قبل (FAACH) والتي سيتم التعرف عليها لاحقا، والتدريب (training) تستخدم من اجل التزامن، والباقي يستعمل لنقل المعلومات.



الشكل (5-13): توضيح هيكلة قناة الحركة

ب. قنوات التحكم (Control Channel):

وتقسم إلى ثلاثة أقسام (قناة إذاعية، قناة تحكم مشتركة و قناة تحكم مكرسة)، والشكل (5-14) يوضح هذه القنوات.



شكل (5-3): توضيح قنوات التحكم

1. القناة الإذاعية (Broadcast Channel (BCH)):

تعمل هذه القناة في وصلة الهابطة فقط، وترسل بياناتها في خانة Ts_0 فقط، إذا لم تكن تستخدم طبعا من قبل القناة المشتركة (CCH)، وتعود اهمية هذه القناة لاستخدامها كمنارة للمحطة المتنقلة (MS) التي يتواجد فيها، وتوفير التزامن للمشترك، وتضم ثلاثة أقسام.

أ. قناة التحكم الإذاعية ((Broadcast Control Channel (BCCH)):

تستخدم لتعريف الخلية والشبكة وتهيئة القنوات التي يمكن استعمالها، ومواقع الترددات الممكن استخدامها.

ب. قناة التحكم الترددي ((Frequency Control Channel (FCCH)):

تمكن جهاز المشترك من توحيد تردده مع تردد المحطة الثابتة (BS)، وذلك لتأمين التزامن بين المحطتين.

ج. قناة التحكم التزامني ((Synchronies Channel (SCCH)):

تستعمل لتعريف المحطة الثابتة (BS) مع المشترك، وهي أيضا تحافظ على التزامن بين المحطتين.

2. قناة التحكم المشتركة
((Common Control Channel (CCCH)):

تستخدم هذه القناة أيضا Ts_0 إن لم تكن تستخدم من قبل BCH، وتقسم أيضا إلى ثلاثة أجزاء:

د. قناة النداء ((Paging Channel (PCH)):

تستخدم هذه القناة من المحطة الثابتة (BS) إلى المحطة المتنقلة (MS) أي أنها تستعمل في الوصلة الهابطة، لتنبيه المشترك باستقبال (استلام) مكالمة.

ه. قناة المسلك العشوائي ((Random Access Channel (RACH)):

تستعمل في الوصلة الصاعدة، عن طريق المحطة المتنقلة (MS) لتسجيل دخول المستخدم للشبكة وتثبيت معلوماته فيها.

و. قناة ضمان المسلك (Access Grant Channel (AGCH))؛

تستعمل في وصلة الهابطة عن طريق المحطة الثابتة (BS) لتهيئة الربط مع المحطة المتنقلة (MS) وتنقل البيانات مع قناة التحكم المكرسة وينتظر الرد (RACH).

3. قناة التحكم المكرسة (Dedicated Control Channel (DCCH))؛

هذا النوع من القنوات لا يكون لها خانة محددة، ويمكن لإرسالها استخدام أي خانة زمنية ما عدا Ts_0 وتستعمل للوصلتين الهابطة والصاعدة، مثل قنوات التحكم، ولها ثلاث أجزاء:

ز. قناة تحكم مكرسة قائمة بذاتها؛
(Stand – Alone DCCH (SDCCH))

تستعمل لخدمات التأشير من طرف المشترك، وذلك بعد الربط بين المحطة الثابتة والمحطة المتنقلة، ويتم فيها نقل معلومات عن هوية المشترك إلى مركز التبديلات (MSC)، ويتم إرسالها قبل قناة الحركة TCH.

ح. قناة تحكم مصاحبة بطيئة (Slow Associated CCH (SACCH))؛

تأتي كلمة مصاحبة لأنها تكون ملازمة ومصاحبة لقنوات الحركة أو SDCCH، وتنقل معلومات عامة بين المحطة المتنقلة MS والمحطة الثابتة BS وتختلف المعلومات المنقولة في وصلة الصاعدة عنها في وصلة الهابطة، ففي وصلة الهابطة تنقل معلومات متعلقة بمستوى الطاقة أو التزامن والتقدم الزمني ، بينما في وصلة الصاعدة تنقل معلومات متعلقة بقوة الإشارة المستلمة ووجود قنوات الحركة TCH.

ط. قنوات تحكم مصاحبة سريعة:

(Fast Associated CCH (FACCH))

هنا تحمل الرسائل العاجلة وتحتوي على نفس معلومات SDCCH، إذا لم تكن قناة التحكم المكرسة القائمة بذاتها قد حددتها ، والفرق بينهم؛ أن هذه القناة في بعض الأحيان تسرق خانات من TCH لإرسال هذه المعلومات، وبذلك تصبح هذه الرشقة تابعة FACCH وليس ضمن قنوات الحركة.

- ملاحظة:

الرشقة الأولى Ts_0 تكون خاصة لإحدى القنوات التالية FCCH أو SCH لإرسال أو إذاعة تردد معين ، وقناة RACH يكون لها أي فترة زمنية وتكون غير محددة، والرشقات العادية تكون لنقل قنوات الحركة TCH بالإضافة إلى DCCH. والشكل (14-5) يوضح هيكلة القنوات المستخدمة.

Normal

3 start bits	58 bits of encrypted data	26 training bits	58 bits of encrypted data	3 stop bits	8.25 bits guard period

FCCH burst

3 start bits	142 fixed bits of all zeroes	3 stop bits	8.25 bits guard period

SCH burst

3 start bits	39 bits of encrypted data	64 bits of training	39 bits of encrypted data	3 stop bits	8.25 bits guard period

RACH burst

8 start bits	41 bits of synchronization	36 bits of encrypted data	3 stop bits	68.25 bit extended guard period

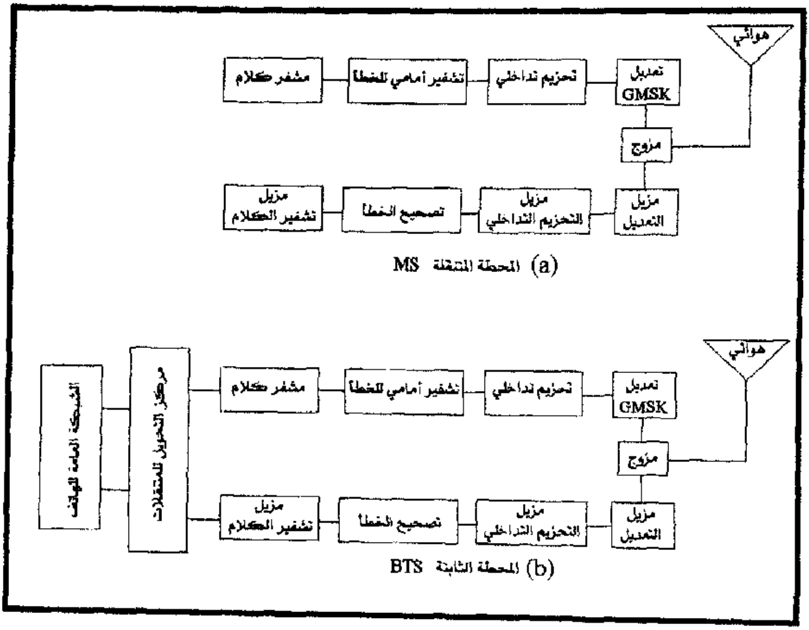
Dummy burst

3 start bits	58 mixed bits	26 training bits	58 mixed bits	3 stop bits	8.25 bits guard period

شكل (14-5) توضيح هيكلية القنوات المستخدمة GSM

9.5. خطوات الإرسال والاستقبال في شبكة GSM:

الشكل (5-15) توضح المخطط الصندوقي لعمليات الإرسال والاستقبال



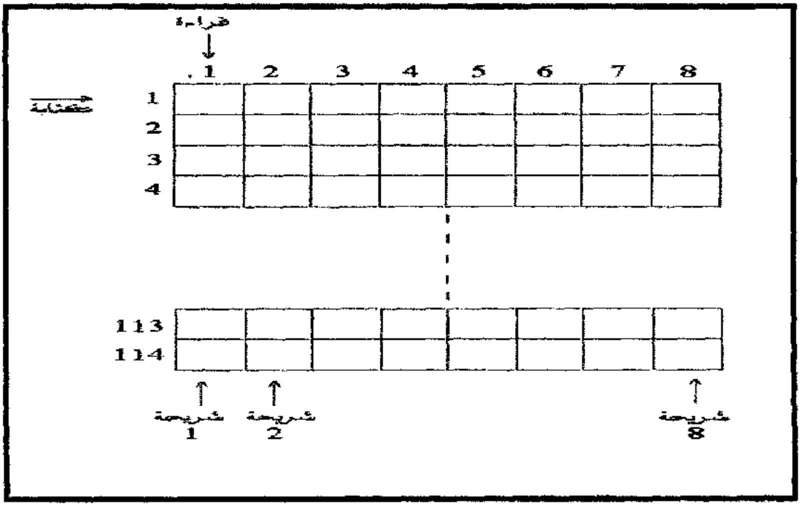
الشكل (5-15) المخطط الصندوقي للإرسال والاستقبال

1. مشفر الكلام:

يتم من خلاله تحويل الكلام إلى معلومات رقمية، وذلك عن طريق أخذ عينات من الكلام، وكل عينة منها (20ms) ويحولها إلى 260bitوهذا يعني يتم استخدام التدفق الكامل (13.4 Kbps).

2. التحزيم الداخلي:

هنا يتم إعادة ترتيب المعلومات الرقمية الناتجة من عملية تشفير القناة، بحيث يتم إرسال المعلومات بشكل عمودي وافقي، فمثلا يؤخذ كل عينتين من الكلام المشفر بعرض 40ms وبالتالي تصبح 114 صف وتقسم إلى ثمانية أعمدة 8، وتقرأ عموديا، كما في الشكل (5-16)



الشكل (5-16) توضيح عملية التحزيم الداخلي

3. تعديل GSM:

يتم تعديل الإشارة وإرسالها، كما تم الشرح سابقا عن طريق الهوائي، ويتم تمويه الإشارة من أجل حمايتها، بحيث يتم جمع ثنائي بين 114 خانة مع شيفرة عشوائية، وترسل ناتج الجمع (وفي المستقبل، يتم توليد تقريبا نفس الشيفرة، وتجمع ثنائيا مرة أخرى لفك الشيفرة).

4. تصحيح الخطأ:

إذا حصل خطأ في جهة المستقبل يتم اكتشافه وتصليحه.

5. مزدوج duplex:

يفصل الإشارة المستقبلة عن الإشارة المرسلة.

6. مزيل تشفير:

تحويل المعلومات الرقمية إلى إشارة تماثلية تمثل كلام المستقبل.

عند استقبال المكالمة، يتم فك تعديلها باستخدام GSM، وإزالة التحزيم عنها وتصحيح الأخطاء إن وجدت، ومن ثم إلى مركز تبديل MSC ومنها إلى شبكة العامة PSTN، والتي هي بدورها تنقلها إلى المشترك الآخر، عن طريق تشفير الكلام وإعادة الكرة مرة لأخرى، وأيضا من أجل المحاسبة المالية.

أسئلة الوحدة:

1. AMPS ماهو نظام، ولأي جيل اتصالات يتبع، وما الفرق بينه وبين DAMPS؟
2. IMT2000 لماذا يرمز الاختصار، واكتب مميزاتها؟
3. إذا كان المشترك في حالة الراحة (Idle)، كيف تتعامل معه الشبكة اللاسلكية؟
4. ما الفرق بين أجهزة الموبايل (ME) وبطاقة التعريف (SIM) في وحدة المشترك؟
5. ما الفرق بين BTS & BSC في وحدة محطة القاعدة؟
6. أي جزء في الشبكة يتحكم في عملية المناولة، أشرح عنه بإيجاز؟
7. ما الفرق بين مسجل الموقع الحالي ومسجل الزائر؟
8. عدد القوائم التي تخزن في هوية المعدات، وما الفرق بينها وبين هوية المشترك؟
9. اشرح باختصار عمل شبكة GSM مع مكوناتها؟
10. تحدث باختصار عن تطورات شبكة GSM؟
11. كيف يتم استخدام تعدد الوصول بتقسيم التردد \ الزمن؟
12. عرف تعدد الوصول بتقسيم الشيفرة؟
13. ما هي القنوات الخاصة بتعديل الكلام؟
14. ماهو سبب وجود ثلاث رشقات فارغة؟
15. عدد أنواع قنوات التحكم ؟
16. ما اسم القناة التي تستخدم لتنبيه المشترك عند استلامه لمكالمة؟
17. Ts_0 لماذا تستخدم هذه الرشقة؟
18. ارسم مخطط صندوقي للإرسال مع الشرح المبسط لكل خطوة؟

المراجع العلمية References:

1. دوسيه "أنظمة الاتصالات I"، إعداد نخبة من المهندسين.
2. دوسيه "Communication Systems"، للدكتور حمدي شرشر، جامعة المنصورة، مصر.
3. Introduction to Radar System, Merrill L. Skolnik. 2ed edition.
4. MTI and Pulsed Doppler Radar; D. Curtis Schleher.
5. Microwaves, An Introduction to Microwave Theory and Techniques; A.J.Baden Fuller, 2nd edition.
6. Introduction to Microwaves, Gershon J. Wheeler, Prentice Hall, 1963.
7. دوسية "Digital Communication"، للمهندسة مريم أخوازهية.
8. Electromagnetics, John D.Kraus, Fourth Edition
9. Principles of Communication Systems, Tub Schilling 2nd edition.
10. Analogs and Digital Communication Systems, Martin S.Roden; 4th edition.
11. Analogs and Digital Communication 2th edition.

مكونات أنظمة الإتصالات

مكتبة المجتمع العربي

مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع

الأردن-عمان-وسط البلد- ش السلط - مجمع الفحيص التجاري- تلفاكس: 2739 463 6 962+
خلوي: 5651920 79 962+ ص.ب 8244 الرمز البريدي 11121 جبل الحسين الشرقي

الأردن - عمان - الجامعة الأردنية ش. الملكة رانيا العبدالله - مقابل كلية الزراعة - مجمع زهدي حصوة التجاري

www.muj-arabi-pub.com

E-mail:Moj_ pub@hotmail.com